

TÍTULO	Cálculo y simulación por computador con el software JMAG de un transformador trifásico de potencia de 800kVA, 20kV/1000V y 60 Hz y el análisis de sus pérdidas de potencia		
AUTOR	Marcial Jesús Martínez Olivares		
DIRECTOR / PONENTE	Luis Fernando Mantilla Peñalba		
TITULACIÓN	Graduado en Ingeniería en Tecnologías Industriales	FECHA	Julio de 2023

PALABRAS CLAVE

Pérdidas, histéresis, Joule, núcleo, devanado, baja tensión, alta tensión, magnetización, trifásico

DESCRIPCIÓN RESUMEN DEL TFG

En este TFG se pretende el diseño de un transformador para su posterior simulación mediante el software JMAG

Para ello se comenzó con la realización de los cálculos tradicionales del transformador que a partir de unas consideraciones previas y en el marco de un estudio limitado a los fenómenos electromagnéticos, se obtuvieron valores geométricos y eléctricos de los elementos que conforman el transformador. Tras esto, se debía generar ese transformador con todas sus características ya calculadas en el software JMAG para así poder obtener los resultados de su comportamiento.

Para ello, primero se debe generar el transformador geoméricamente con las medidas ya calculadas mediante el editor geométrico del software JMAG, tras esto, se deben asignar los materiales a todos los elementos y generar un circuito eléctrico que les aporte un comportamiento a nivel eléctrico y magnético a todos los elementos creados.

Por otra parte, se deben añadir las condiciones que sean necesarias y generar el mallado del transformador y del entorno que le rodea.

Por último, se procede a la obtención de resultados y su posterior comparación con lo esperado en los cálculos teóricos previos.

CONCLUSIONES

El transformador diseñado cumple con las especificaciones calculadas en los cálculos previos.

Se ha podido comprobar el impacto de las separaciones que pueden existir entre los elementos que conforman el transformador a la hora de su magnetización ya que un pequeño cambio podía provocar la fluctuación de los resultados.

Además, también se ha podido ver como el material del que está hecho el núcleo varía mucho los valores nominales a pesar de trabajar con aceros laminados de la misma empresa, también se ha comprobado la importancia de la carga conectada en los terminales del transformador ya que puede provocar variaciones de los valores finales

Por último, cabe destacar que aparte de los aspectos que se han tratado en este proyecto, los aspectos térmicos, dieléctricos y mecánicos tienen una gran importancia en el comportamiento final del transformador y sus valores nominales

REFERENCIAS

-MITTAL, Arvind y MITTLE, VN, 2012. *Design of electrical machines*. 5ª ed. Delhi: Standard Publishers Distributors. Isbn 8180141268

- AGARWAL, RK, 2014. *Principles of electrical machine design*. 5ª ed. Nueva Delhi: S.K. Kataria And Sons. Isbn 9789380027128

-SHANMUGASUNDARAM, A Y GANGADHARAN, G Y PALANI, R, 1989. *Electrical machine design data book*. 2ª ed. College of technology Coimbatore: New Age International Publishers. Isbn 8122437680

-DESHPANDE, MV, 2010. *Design and testing of electrical machines*. Nueva Delhi: Phi Learning Private Limited. Isbn 9788120336452

-ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE LA NORMALIZACIÓN. UNE197001. *Criterios generales para la elaboración de informes periciales*. España:2019

-ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE LA NORMALIZACIÓN. UNE157001. *Criterios generales para la elaboración formal de los documentos que constituyen un proyecto técnico*. España:2014

-JMAG. *Manual de usuario JMAG*. Japan:2017

-MINISTERIO DE CIENCIA E INNOVACIÓN. ORDEN CIN/351/2009. *Requisitos para la verificación de los títulos universitarios oficiales que habiliten para el ejercicio de ingeniero técnico industrial*. España:Febrero,2009

-MINISTERIO DE UNIVERSIDADES. REAL DECRETO 822/2021. *Organización de las enseñanzas universitarias y del procedimiento de aseguramiento de su calidad*. España:Octubre:2021

-UNIVERSIDAD DE CANTABRIA. *Plan de estudios de graduado en ingeniería en tecnologías industriales*. Cantabria:Abril,2013

-UNIVERSIDAD DE CANTABRIA. *Normativa de gestión académica de los estudios de grado de la universidad de Cantabria*. Cantabria:Febrero,2023

-UNIVERSIDAD DE CANTABRIA. *Guía docente G733 de la asignatura trabajo de Fin de Grado*. Cantabria:2023

-COMISIÓN ACADÉMICA. *Normativa del trabajo de fin de grado en ingeniería en tecnologías industriales de la escuela técnica superior de ingenieros industriales y de telecomunicaciones (ETSIIyT)*. Cantabria:Noviembre,2021

-ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE NORMALIZACIÓN. UNE-ISO690:2013. *Directrices para la redacción de referencias bibliográficas y de citas de recursos de información*. España:2013

TÍTULO	Calculation and computer simulation with JMAG software of an 800kVA, 20kV/1000V, 60 Hz three-phase power transformer and analysis of its power losses.		
AUTHOR	Marcial Jesús Martínez Olivares		
DIRECTOR / SPEAKER	Luis Fernando Mantilla Peñalba		
ACADEMIC DEGREE	Graduate in Industrial Engineering	DATE	July 2023

KEYWORDS

Losses, hysteresis, Joule, core, winding, low voltage, high voltage, magnetisation, three-phase

SUMMARY DESCRIPTION OF TFG

The aim of this TFG is to design a transformer for its subsequent simulation using JMAG software.

To do this, we began by carrying out the traditional transformer calculations, which, based on a series of preliminary considerations and within the framework of a study limited to electromagnetic phenomena, geometric and electrical values were obtained for the elements that make up the transformer.

After this, the transformer had to be generated with all its characteristics already calculated in the JMAG software in order to obtain the results of its behaviour.

To do this, the transformer must first be generated geometrically with the measurements already calculated using the geometric editor of the JMAG software. After this, the materials must be assigned to all the elements and an electrical circuit must be generated to provide electrical and magnetic behaviour to all the elements created.

On the other hand, the necessary conditions must be added and the meshing of the transformer and the surrounding environment must be generated.

Finally, the results are obtained and compared with those expected from the previous theoretical calculations.

CONCLUSIONS

The transformer designed complies with the specifications calculated in the previous calculations.

It has been possible to check the impact of the separations that may exist between the elements that make up the transformer when it comes to its magnetisation, as a small change could cause the results to fluctuate.

In addition, it was also possible to see how the material of which the core is made varies greatly in the nominal values despite working with laminated steels from the same company, and the importance of the load connected to the transformer terminals was also verified, as this can cause variations in the final values.

Finally, it should be noted that apart from the aspects dealt with in this project, the thermal, dielectric and mechanical aspects are of great importance in the final behaviour of the transformer and its nominal values.

REFERENCES

-MITTAL, Arvind y MITTLE, VN, 2012. *Design of electrical machines*. 5ª ed. Delhi: Standard Publishers Distributors. Isbn 8180141268

- AGARWAL, RK, 2014. *Principles of electrical machine design*. 5ª ed. Nueva Delhi: S.K. Kataria And Sons. Isbn 9789380027128

-SHANMUGASUNDARAM, A Y GANGADHARAN, G Y PALANI, R, 1989. *Electrical machine design data book*. 2ª ed. College of technology Coimbatore: New Age International Publishers. Isbn 8122437680

-DESHPANDE, MV, 2010. *Design and testing of electrical machines*. Nueva Delhi: Phi Learning Private Limited. Isbn 9788120336452

-SPANISH STANDARDISATION ASSOCIATION. UNE197001. *Criterios generales para la elaboración de informes periciales*. Spain:2019

- SPANISH STANDARDISATION ASSOCIATION. UNE157001. *Criterios generales para la elaboración formal de los documentos que constituyen un proyecto técnico*. España:2014

-JMAG. *User manual JMAG*. Japan:2017

-MINISTERIO DE CIENCIA E INNOVACIÓN. ORDEN CIN/351/2009. *Requisitos para la verificación de los títulos universitarios oficiales que habiliten para el ejercicio de ingeniero técnico industrial*. Spain:February,2009

-MINISTERIO DE UNIVERSIDADES. REAL DECRETO 822/2021. *Organización de las enseñanzas universitarias y del procedimiento de aseguramiento de su calidad*. Spain:October:2021

-UNIVERSIDAD DE CANTABRIA. *Plan de estudios de graduado en ingeniería en tecnologías industriales*. Cantabria:April,2013

-UNIVERSIDAD DE CANTABRIA. *Normativa de gestión académica de los estudios de grado de la universidad de Cantabria*. Cantabria:February,2023

-UNIVERSIDAD DE CANTABRIA. *Guía docente G733 de la asignatura trabajo de Fin de Grado*. Cantabria:2023

-COMISIÓN ACADÉMICA. *Normativa del trabajo de fin de grado en ingeniería en tecnologías industriales de la escuela técnica superior de ingenieros industriales y de telecomunicaciones(ETSIIyT)*. Cantabria:November2021

-ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE NORMALIZACIÓN. UNE-ISO690:2013. *Directrices para la redacción de referencias bibliográficas y de citas de recursos de información*. Spain:2013

IDENTIFICACIÓN INICIAL

DATOS DEL PROYECTO	
Título en español: Cálculo y simulación por computador con el software JMAG de un transformador trifásico de potencia de 800kVA, 20kV/1000V y 60 Hz y el análisis de sus pérdidas de potencia	
Título en inglés: Calculation and computer simulation with JMAG software of an 800kVA, 20kV/1000V, 60 Hz three-phase power transformer and analysis of its power losses	
CÓDIGO: GITI/2022-2023/MMO	
DATOS DEL DESTINATARIO	
Nombre	Luis Fernando Mantilla Peñalba
Entidad	Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales y de Telecomunicación. Universidad de Cantabria
DATOS DEL AUTOR	
Nombre	Marcial Jesús Martínez Olivares
Titulación	Proyectante Ingeniero en Tec. Industriales
Entidad	Universidad de Cantabria E.T.S. de Ing. Industriales y Telecomunicación
Dirección	Avda. de los Castros, 46. 39005 Santander
Correo electrónico	mmo100@alumnos.unican.es
DATOS DEL PROMOTOR	
Nombre	Luis Fernando Mantilla Peñalba
Entidad	Dpto. de Ingeniería Eléctrica y Energética
EMPLAZAMIENTO GEOGRÁFICO	
No procede	
TRABAJS PREVIOS	
No procede	

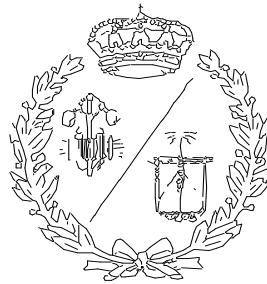
PRÓLOGO

Este Trabajo Fin de Grado (TFG) es un documento académico con finalidad y contenidos diferentes de los proyectos técnicos, los proyectos de actividad y los informes periciales regulados por la norma UNE. Sin embargo, es instructivo que la estructura y el desarrollo del documento se adapte normativamente a aquellos. Con ese objetivo y dado el objeto técnico de este TFG, se asume que tiene aspectos semejantes a un informe pericial por su finalidad demostrativa ante un tribunal, en este caso académico, y aspectos propios de un proyecto técnico por su contenido tecnológico.

Con estas consideraciones el documento adopta una estructura mixta resultante de las estipulaciones de UNE 197001:2019 (informe pericial) con adiciones de UNE 157001:2014 (proyecto técnico). El Pliego de Condiciones detalla la adaptación formal del documento.

**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS
INDUSTRIALES Y DE TELECOMUNICACIÓN**

UNIVERSIDAD DE CANTABRIA



Trabajo Fin de Grado

**Cálculo y simulación por computador con el
software JMAG de un transformador trifásico de
potencia de 800kVA, 20kV/1000V y 60 Hz y el
análisis de sus pérdidas de potencia
(Calculation and computer simulation with JMAG
software of an 800kVA, 20kV/1000V, 60 Hz
three-phase power transformer and analysis of
its power losses)**

Para acceder al Título de

**GRADUADO EN INGENIERÍA EN
TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES**

**Autor: Marcial Jesús Martínez Olivares
Julio-2023**

ÍNDICE GENERAL

MEMORIA.....	2
ANEXOS	56
PLANOS	72
PLIEGO DE CONDICIONES	111
MEDICIONES	149
PRESUPUESTO.....	151

MEMORIA

1 OBJETO	6
2 ALCANCE	7
3 ANTECEDENTES	10
4 CONDICIONES PRELIMINARES	11
4.1 GENERALES.....	11
4.2 MATERIALES	11
4.3 GEOMETRÍA.....	12
4.4 CONEXIONADO.....	12
5 DOCUMENTOS DE REFERENCIA	13
5.1 MITTAL, ARVIND Y MITTLE, VN, 2012. <i>DESIGN OF ELECTRICAL MACHINES</i> . 5ª ED. DELHI: STANDARD PUBLISHERS DISTRIBUTORS. ISBN 8180141268.....	13
5.2 AGARWAL, RK, 2014. <i>PRINCIPLES OF ELECTRICAL MACHINE DESIGN</i> . 5ª ED. NUEVA DELHI: S.K. KATARIA AND SONS. ISBN 9789380027128 ..	13
5.3 SHANMUGASUNDARAM, A Y GANGADHARAN, G Y PALANI, R, 1989. <i>ELECTRICAL MACHINE DESIGN DATA BOOK</i> . 2ª ED. COLLEGE OF TECHNOLOGY COIMBATORE: NEW AGE INTERNATIONAL PUBLISHERS. ISBN 8122437680.....	13
5.4 DESHPANDE, MV, 2010. <i>DESIGN AND TESTING OF ELECTRICAL MACHINES</i> . NUEVA DELHI: PHI LEARNING PRIVATE LIMITED. ISBN 9788120336452	13
5.5 ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE NORMALIZACIÓN. UNE197001. <i>CRITERIOS GENERALES PARA LA ELABORACIÓN DE INFORMES PERICIALES</i> . ESPAÑA:2019	13
5.6 ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE NORMALIZACIÓN. UNE157001. <i>CRITERIOS GENERALES PARA LA ELABORACIÓN FORMAL DE LOS DOCUMENTOS QUE CONSTITUYEN UN PROYECTO TÉCNICO</i> . ESPAÑA:2014	13
5.7 JMAG, <i>MANUAL DE USUARIO JMAG</i> . JAPAN:2017	14
5.8 MINISTERIO DE CIENCIA E INNOVACIÓN. ORDEN CIN/351/2009. <i>REQUISITOS PARA LA VERIFICACIÓN DE LOS TÍTULOS</i>	

UNIVERSITARIOS OFICIALES QUE HABILITEN PARA EL EJERCICIO DE INGENIERO TÉCNICO INDUSTRIAL. ESPAÑA:FEBRERO,2009	14
5.9 MINISTERIO DE UNIVERSIDADES. REAL DECRETO 822/2021.ORGANIZACIÓN DE LAS ENSEÑANZAS UNIVERSITARIAS Y DEL PROCEDIMIENTO DE ASEGURAMIENTO DE SU CALIDAD. ESPAÑA:OCTUBRE:2021	14
5.10 UNIVERSIDAD DE CANTABRIA.PLAN DE ESTUDIOS DE GRADUADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES. CANTABRIA:ABRIL,2013.....	14
5.11 UNIVERSIDAD DE CANTABRIA.NORMATIVA DE GESTIÓN ACADÉMICA DE LOS ESTUDIOS DE GRADO DE LA UNIVERSIDAD DE CANTABRIA. CANTABRIA:FEBRERO,2023	14
5.12 UNIVERSIDAD DE CANTABRIA. GUÍA DOCENTE G733 DE LA ASIGNATURA TRABAJO DE FIN DE GRADO. CANTABRIA:2023	14
5.13 COMISIÓN ACADÉMICA.NORMATIVA DEL TRABAJO DE FIN DE GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES DE LA ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS INDUSTRIALES Y DE TELECOMUNICACIONES(ETSIIYT). CANTABRIA:NOVIEMBRE,2021.....	14
5.14 ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE NORMALIZACIÓN. UNE-ISO690:2013.DIRECTRICES PARA LA REDACCIÓN DE REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS Y DE CITAS DE RECURSOS DE INFORMACIÓN. ESPAÑA:2013	15
6 TERMINOLOGÍA	16
6.1 VENTANA	16
6.2 BAJA TENSIÓN	16
6.3 ALTA TENSIÓN	16
6.4 POTENCIA APARENTE	16
6.5 POTENCIA ACTIVA Y POTENCIA REACTIVA	17
6.6 TRIÁNGULO Y ESTRELLA	17
6.7 MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS.....	18
6.8 PÉRDIDAS DEL HIERRO, JOULE E HISTÉRESIS	18
6.9 FEM COIL	18
7 DESARROLLO	20

7.1 CÁLCULOS PREVIOS PARA EL DISEÑO CLÁSICO	20
7.1.1 Diseño del núcleo del transformador	20
7.1.2 Diseño del conductor de baja tensión	23
7.1.3 Diseño del conductor de alta tensión.....	24
7.1.4 Diseño del bobinado de baja tensión	26
7.1.5 Diseño del bobinado de alta tensión.....	29
7.1.6 Elección de la resistencia de carga	32
7.1.7 Relación de transformación	32
7.2 DISEÑO CON JMAG	33
7.2.1 Ajustes previos de computación	34
7.2.2 Diseño geométrico	35
7.2.3 Asignación de materiales.....	39
7.2.4 Puesta en marcha del estudio.....	40
7.2.5 Creación del circuito eléctrico.....	41
7.2.6 Definición de las condiciones.....	43
7.2.7 Generación del mallado.....	45
7.3 SIMULACIÓN Y OBTENCIÓN DE RESULTADOS	50
7.3.1 Simulación del estudio	50
7.3.2 Obtención de resultados	50
8 CONCLUSIONES	54

1 OBJETO

El objeto de este TFG es el cálculo y simulación por computador con el software JMAG de un transformador trifásico de potencia de 800KVA, 20kV/1000 V y 60Hz y el análisis de sus pérdidas de potencia

También se buscará conseguir el resto de pérdidas asociadas al funcionamiento de un transformador bajo ciertas condiciones.

Para ello, se comenzará con un diseño tradicional del transformador, para tras esto modelarlo en el software elegido, JMAG, y así obtener resultados del funcionamiento del mismo.

2 ALCANCE

Este estudio estará limitado a ciertas condiciones y se asumirán algunas simplificaciones para no hacer muy voluminoso ni complicado el cálculo final.

El estudio estará centrado en el electromagnetismo y sus fenómenos, por lo que otros no serán tenidos en cuenta, para permitir una gran simplificación.

Cabe destacar que no se tendrán en cuenta todos los aislamientos y dieléctricos, por lo que el hueco que ocupan dentro del transformador no se contará, esto provocaría muchas pérdidas y aumentos de la temperatura debido a corrientes parásitas y a posibles corrientes que escapen al no tener separación dieléctrica que aisle los elementos eléctricamente, además, tampoco se tienen en cuenta los espacios que se han de dejar para el paso del refrigerante que sirve para mantener la temperatura dentro de un rango que permita el funcionamiento y además tiene un coste de compra y de mantenimiento cada cierto tiempo cuando la calidad se deteriora

Tampoco se contará con todos los elementos estructurales necesarios para tanto el soporte de los elementos del transformador como para la protección de esos mismos elementos de posibles inclemencias atmosféricas, en caso de ser un transformador a la intemperie o posibles golpes o entradas de distintos fluidos.

Entre los elementos estructurales más importantes que no han sido tenidos en cuenta están:

- El tanque, es uno de los elementos más importante porque es el que contiene todos los elementos del transformador y se encarga de protegerlo contra golpes, así como de cualquier elemento exterior, además es el que contiene todo el refrigerante

- Las abrazaderas, son los elementos que sostienen al núcleo dentro del tanque, para que esté sujeto al conjunto

- El escudo, son elementos que se utilizan para canalizar la mayor parte de corrientes y flujos que se hayan fugado del material conductor. Éste suele ser de algún material ferromagnético ya que de esta forma podrá absorber mayor parte de los flujos de dispersión porque será mejor conductor que los materiales de alrededor.

La parte térmica tampoco será tenida en cuenta, esto provocaría una gran dificultad en los cálculos ya que sus efectos no son fácilmente previstos ya que las variaciones pueden venir de varias situaciones, pérdidas de Joule de las resistencias, aumento de la temperatura debido a la degradación de la calidad del refrigerante, temperatura externa y hasta la falta de aislamiento entre las partes o posibles cortocircuitos, por ello es un parámetro de suma importancia pero que no ha sido tenido en cuenta para centrarse en la parte electromagnética,

El ámbito económico tampoco será tenido en cuenta ya que no ha lugar en este tipo de estudios, por ejemplo, para el material de los conductores será escogido el cobre, el cual es más caro que el otro material que se usa con más frecuencia, el aluminio, así como el material ferromagnético que ha sido usado para el transformador, el cual ha sido escogido por requerimientos de funcionamiento, no por precio

Para modelar la carga del transformador se asumirá que solo existe una carga a la salida y por ello se colocará 1 resistencia en cada una de las fases, ya que es el modelo eléctrico que se ha utilizado.

Para el cálculo que se ha realizado mediante el software JMAG, se ha aplicado el método de elementos finitos el cual es un método numérico general para la aproximación de soluciones de ecuaciones diferenciales parciales muy complejas.

Su procedimiento es, subdividir el transformador en pequeñas partes llamadas elementos que representan toda la geometría, esto hace que el problema se divida en muchos problemas, pero bastante más simples. Estos elementos están conectados entre sí por puntos llamados nodos, a partir de los cuales se plantean ecuaciones diferenciales que están relacionadas entre sí, lo que permite su resolución.

Es importante destacar que, el número de elementos está ligado con la precisión del resultado obtenido, por ello un buen uso de este modelo lleva consigo un intento de encontrar el punto medio entre precisión del resultado y tiempo de resolución

Se asumirá también que nos encontramos en régimen permanente y por tanto para el estudio no tiene repercusión la parte transitoria del comportamiento del transformador ya que para el objetivo de este estudio no tiene gran importancia, además, facilita los cálculos y reduce el tiempo de computación.

También es destacable el hecho de que el estudio se realiza para una temperatura constante de 75 grados centígrados en los conductores, lo cual será muy importante a la hora de calcular la resistencia de los conductores porque dependen de su resistividad que varía con la temperatura.

Para la reducción del tiempo de computación y menor número de nodos en el método de los elementos finitos, solo se construirá una mitad del transformador, aprovechando su simetría con respecto a un plano vertical que pase por su centro como se puede ver en el apartado de planos, en el plano 2

3 ANTECEDENTES

Para la realización de este proyecto se ha utilizado un software llamado JMAG el cual, para poder ser utilizado, al ser un software tan complejo, requiere de un ordenador con unas características adecuadas.

Por ello, en este caso se ha usado un ordenador de la marca Intel, con 32 GB de memoria RAM instalada, un sistema operativo de 64 bits y un procesador de la marca Intel de la serie Xeon de 3GHz. El ordenador estaba equipado con Windows 10 en su versión 21H2 para empresas.

Además, cabe destacar que el ordenador cuenta con 8 núcleos, lo cual ha permitido agilizar en muchos casos los procesos tan complejos necesarios para este tipo de estudios con JMAG

JMAG es un software para el diseño, desarrollo y simulación de aparatos electromagnéticos que pertenece a JSOL Corporation, su primera versión apareció en 1983 y era una herramienta para ayudar en el diseño de aparatos como motores, antenas o actuadores.

La herramienta de simulación fue añadida más tarde, para conseguir un análisis preciso de un amplio rango de fenómenos físicos en geometrías complejas.

Para este proyecto fue usado en su versión 22.0 publicada el 21 de diciembre de 2022

4 CONDICIONES PRELIMINARES

En este apartado se expondrán las condiciones previas de las que se parten en el estudio del transformador.

4.1 GENERALES

Se parte de la idea de un transformador de distribución (debido a su potencia), realizado en trifásica para una frecuencia de 60 Hz, una tensión de 1kV/20kV y una potencia aparente de 800kVA

Además, se ha trabajado en régimen permanente por lo que se ha utilizado el modelo de resistencias constantes lo cual supone una gran simplificación en los cálculos.

El estudio se ha realizado para una temperatura constante de 75º, valor que se ha supuesto constante en todo momento

4.2 MATERIALES

Para el núcleo se debe usar un material ferromagnético ya que son los materiales con propiedades más favorables para el comportamiento requerido en el estudio, por ello para el núcleo se ha elegido una lámina de acero de la compañía fabricante de acerco japonés, JFE Steel, el tipo 50JN270 el cual además aparece en la biblioteca del software con el que se va a realizar el estudio, JMAG, como se puede observar en el apartado de planos, en el plano 4

La elección de material laminado en vez de macizo se debe a la intención de reducir lo máximo posible las pérdidas y se sabe que las pérdidas de histéresis o por corrientes de Foucault están ligadas al espesor, es decir, las pérdidas se reducen mediante el uso de chapas finas

Para el conductor que forma el bobinado se ha tomado la determinación del uso del cobre como material debido a sus propiedades para la aplicación necesaria en este estudio. El cobre y el aluminio son los materiales conductores más usados, pero se ha elegido el cobre debido a que es mejor conductor, es decir, para la misma cantidad de corriente, tiene menor caída de tensión y además tiene mayor vida útil y es menos corrosivo.

A pesar de ello, el aluminio es más ligero y barato, lo cual si se tiene en cuenta el ámbito económico puede ser una gran baza a su favor

4.3 GEOMETRÍA

Para realizar el modelo del núcleo del transformador, se ha utilizado el de área transversal o área de la columna cuadrada

Además, cabe destacar que en todo el núcleo el área transversal es la misma

Para lo bobinados, tanto de alta tensión como de baja tensión, se ha decidido el uso de bobinados concéntricos, pero sin dejar ninguna separación entre ellos, ni entre ellos y el núcleo debido a simplificaciones

4.4 CONEXIONADO

Para el conexionado de ambos bobinados, tanto de alta tensión como de baja tensión, se debe utilizar la conexión en triángulo.

En cambio, para la conexión del bobinado de alta tensión con las resistencias que modelan la carga, se realiza en estrella.

5 DOCUMENTOS DE REFERENCIA

Para la realización de este TFG se han utilizado como apoyo varios libros relacionados con las máquinas eléctricas y más en específico los transformadores para poder comprender su funcionamiento y realizar los cálculos, así como tener nociones básicas de los valores que deben tomar algunas constantes que se deben elegir a lo largo del desarrollo del transformador

- 5.1 MITTAL, ARVIND Y MITTLE, VN, 2012. *DESIGN OF ELECTRICAL MACHINES*. 5ª ED. DELHI: STANDARD PUBLISHERS DISTRIBUTORS. ISBN 8180141268**
- 5.2 AGARWAL, RK, 2014. *PRINCIPLES OF ELECTRICAL MACHINE DESIGN*. 5ª ED. NUEVA DELHI: S.K. KATARIA AND SONS. ISBN 9789380027128**
- 5.3 SHANMUGASUNDARAM, A Y GANGADHARAN, G Y PALANI, R, 1989. *ELECTRICAL MACHINE DESIGN DATA BOOK*. 2ª ED. COLLEGE OF TECHNOLOGY COIMBATORE: NEW AGE INTERNATIONAL PUBLISHERS. ISBN 8122437680**
- 5.4 DESHPANDE, MV, 2010. *DESIGN AND TESTING OF ELECTRICAL MACHINES*. NUEVA DELHI: PHI LEARNING PRIVATE LIMITED. ISBN 9788120336452**
- 5.5 ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE NORMALIZACIÓN. UNE197001. *CRITERIOS GENERALES PARA LA ELABORACIÓN DE INFORMES PERICIALES*. ESPAÑA:2019**
- 5.6 ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE NORMALIZACIÓN. UNE157001. *CRITERIOS GENERALES PARA LA ELABORACIÓN***

***FORMAL DE LOS DOCUMENTOS QUE CONSTITUYEN UN PROYECTO
TÉCNICO. ESPAÑA:2014***

5.7 JMAG, MANUAL DE USUARIO JMAG. JAPAN:2017

**5.8 MINISTERIO DE CIENCIA E INNOVACIÓN. ORDEN
CIN/351/2009.REQUISITOS PARA LA VERIFICACIÓN DE LOS
TÍTULOS UNIVERSITARIOS OFICIALES QUE HABILITEN PARA EL
EJERCICIO DE INGENIERIO TÉCNICO INDUSTRIAL.
ESPAÑA:FEBRERO,2009**

**5.9 MINISTERIO DE UNIVERSIDADES. REAL DECRETO
822/2021.ORGANIZACIÓN DE LAS ENSEÑANZAS UNIVERSITARIAS Y
DEL PROCEDIMIENTO DE ASEGURAMIENTO DE SU CALIDAD.
ESPAÑA:OCTUBRE:2021**

**5.10 UNIVERSIDAD DE CANTABRIA.PLAN DE ESTUDIOS DE GRADUADO
EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES.
CANTABRIA:ABRIL,2013**

**5.11 UNIVERSIDAD DE CANTABRIA.NORMATIVA DE GESTIÓN
ACADÉMICA DE LOS ESTUDIOS DE GRADO DE LA UNIVERSIDAD DE
CANTABRIA. CANTABRIA:FEBRERO,2023**

**5.12 UNIVERSIDAD DE CANTABRIA. GUÍA DOCENTE G733 DE LA
ASIGNATURA TRABAJO DE FIN DE GRADO. CANTABRIA:2023**

**5.13 COMISIÓN ACADÉMICA.NORMATIVA DEL TRABAJO DE FIN DE
GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUTRIALES DE LA**

***ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS INDUSTRIALES Y DE
TELECOMUNICACIONES(ETSIIyT). CANTABRIA:NOVIEMBRE,2021***

**5.14 ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE NORMALIZACIÓN. UNE-
ISO690:2013.DIRECTRICES PARA LA REDACCIÓN DE REFERENCIAS
BIBLIOGRÁFICAS Y DE CITAS DE RECURSOS DE INFORMACIÓN.
ESPAÑA:2013**

6 TERMINOLOGÍA

En este apartado se hará una breve explicación de los términos que pueden ser necesarios para la comprensión del proyecto

6.1 VENTANA

Cuando se nombra durante todo el desarrollo del proyecto a la ventana, se hace referencia al hueco que existe entre las columnas correspondientes a cada una de las fases de un transformador

6.2 BAJA TENSIÓN

Este es un término que será usado muy frecuentemente ya que un transformador está formado por los terminales de baja tensión y de alta tensión.

Para el correcto funcionamiento de un transformador, debe tener un lado de alta tensión y otro de baja tensión, por tanto, el término de baja tensión se le adjudicará al lado de menor tensión de los dos, en este estudio de 1kV

6.3 ALTA TENSIÓN

Este es un término que será usado muy frecuentemente ya que un transformador está formado por los terminales de baja tensión y de alta tensión.

Para el correcto funcionamiento de un transformador, debe tener un lado de alta tensión y otro de baja tensión, por tanto, el término de alta tensión se le adjudicará al lado de mayor tensión de los dos, en este estudio de 20kV

6.4 POTENCIA APARENTE

La potencia aparente es la cantidad total de potencia que consume un circuito eléctrico, se representa con la letra S y se mide en VA.

Suele diferir de la potencia activa salvo en los circuitos de corriente continua o en los circuitos de corriente alterna sin reactancias.

Es la suma de la energía que se disipa en forma de calor y la energía que se utiliza en la formación de campos eléctricos y magnéticos.

Numéricamente, se obtiene sumando de forma vectorial la potencia activa y la potencia reactiva

6.5 POTENCIA ACTIVA Y POTENCIA REACTIVA

Son los tipos de potencias que forman parte de la potencia aparente.

La potencia activa es la que en los circuitos se transforma en calor y se representa con una P , mientras que la potencia reactiva es la utilizada en la formación de campos eléctricos y magnéticos representada con una Q .

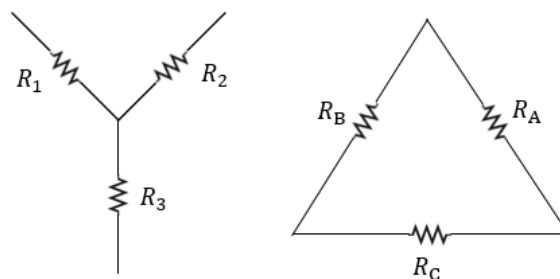
La potencia activa se mide en W y la potencia reactiva en Var .

En circuitos de corriente continua, solo existe la potencia activa mientras que en circuitos de corriente alterna, si aparecen elementos capacitivos o inductivos, aparecerán ambos tipos de potencias

6.6 TRIÁNGULO Y ESTRELLA

Cabe recordar la diferencia entre triángulo y estrella, en triángulo la tensión de fase es la misma que la tensión línea pero la corriente de línea es raíz de 3 veces mayor que la corriente de fase, en cambio en estrella, es la corriente la que es igual en línea y en fase mientras que la tensión de línea es raíz de 3 veces mayor que la tensión de fase.

En cuanto al conexionado, en estrella todas las fases comparten un terminal, en el que se conectan todas que es el punto neutro, en cambio en triángulo las fases se conectan con la anterior y la siguiente fase.



Conexionado estrella y triángulo

6.7 MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS

Es un método numérico general que consiste en subdividir un medio en pequeñas partes llamadas elementos que representan toda la geometría, esto hace que el problema se divida en muchos problemas, pero bastante más simples. Estos elementos están conectados entre sí por puntos llamados nodos, a partir de los cuales se plantean ecuaciones diferenciales que están relacionadas entre sí, lo que permite su resolución.

Es importante destacar que, el número de elementos está ligado con la precisión del resultado obtenido, por ello un buen uso de este modelo lleva consigo un intento de encontrar el punto medio entre precisión del resultado y tiempo de resolución

6.8 PÉRDIDAS DEL HIERRO, JOULE E HISTÉRESIS

Las pérdidas magnéticas en un transformador pueden ser por histéresis o corrientes parásitas.

En el caso de las pérdidas por corrientes parásitas o pérdidas de Foucault, se debe a que el núcleo está hecho con un material conductor por lo que en él aparecen corrientes no deseadas que producen dichas pérdidas.

Por otro lado, las pérdidas por histéresis son aquellas que se producen en los materiales ferromagnéticos al ser sometidos a un campo magnético alterno, y se manifiestan en forma de calor en los núcleos magnéticos

6.9 FEM COIL

Cuando se habla de modelo FEM Coil, es un modelo proporcionado por JMAG que profiere ciertas características al elemento que lo hacen comportarse de cierta manera lo que tendrá su impacto en los resultados finales.

Para empezar, La corriente que lo atraviesa, será positiva siempre y cuando vaya del primer terminal al segundo, si fuera en sentido contrario sería negativo

Si se utiliza la condición sin tener ningún elemento FEM Coil en el circuito eléctrico, esto da un error ya que siempre van juntas, no se pueden separar el modelo eléctrico y la condición.

Al usar esta condición, se asume que la corriente generada en el conductor con modelo FEM se calcula en función de la diferencia de potencial eléctrico entre ambos terminales de la bobina FEM.

Además, se asume que la bobina con la condición de FEM Coil es atravesada por una corriente uniforme

7 DESARROLLO

En este apartado se va a proceder a diseñar el transformador mediante unos cálculos para con los resultados poder crear un modelo en el software JMAG y poder simular el transformador y ver cuál es su comportamiento y si se ciñe a lo esperado.

7.1 CÁLCULOS PREVIOS PARA EL DISEÑO CLÁSICO

Para el diseño tradicional del transformador, se basa en las condiciones previas que se tienen, en este caso, una potencia aparente de 800KVA, una tensión de 20/1 KV y una frecuencia de 60 Hz.

Además de ello, se sabe que no se tendrán en cuenta los espacios para los dieléctricos ni para el paso del refrigerante, ya que el estudio se ciñe a los efectos electromagnéticos, sin tener en cuenta los térmicos, por lo que no habrá separación entre los bobinados ni entre el bobinado interior, el bobinado de baja tensión, que estará pegado al núcleo.

Además, cabe recordar que el cálculo se realizará para una temperatura constante de 75 grados centígrados, por ello la resistividad que aparece en los cálculos es la correspondiente a dicha temperatura.

7.1.1 Diseño del núcleo del transformador

Voltios por vuelta E_t

A partir de estas especificaciones, se tienen que calcular los voltios por vuelta que habrá en los bobinados, es decir, la cantidad de voltios que serán necesarios en cada vuelta para al final tener en global el total que se requiere, como podemos observar en el anexo de cálculos del núcleo en el 1.1.1, se llega a un valor de 12.91V pero que se deja como 13V.

Dicha fórmula está extraída del libro "*Design and testing of electrical machines*" y es una fórmula de carácter empírico, que se ha desarrollado a partir de la experiencia y de la correcta correspondencia a los valores reales.

Cálculo de la sección transversal

La sección transversal del transformador es el área perpendicular al paso del flujo por la columna, que es cuadrada.

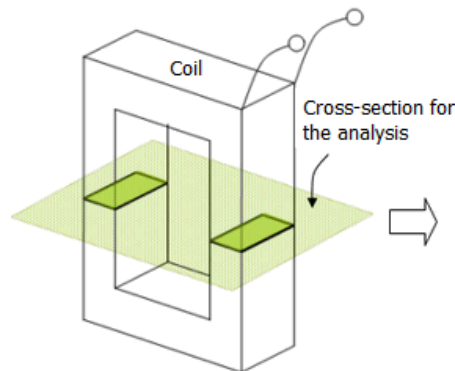


Imagen ilustrativa del área transversal

Cabe recordar que la sección transversal al paso del flujo, es continua en todo el transformador para que así no haya variaciones del flujo, siendo dicha área siempre cuadrada y de la misma magnitud.

Para su cálculo es necesario elegir previamente el campo magnético máximo, $B_{\max}$ que, al ser un transformador de distribución debe estar entre los valores de 1.4 y 1.7, por tanto, se escoge el punto medio para comenzar a iterar, como podemos observar en el anexo de cálculos del núcleo en el 1.1.2, da 1.55 Wb/mm^2 .

Teniendo este valor ya fijado, el cálculo solo dependerá de la frecuencia, 60 Hz y de los voltios por vuelta previamente calculados, 13V por ello, como podemos observar en el anexo de cálculos del núcleo en el 1.1.3, llegamos al valor de 31483.096 mm^2

A partir de esta área, se saca el valor de los lados de la sección, que se calculan haciendo la raíz cuadrada del valor que hemos calculado ya que se tiene que conseguir una sección transversal cuadrada, como podemos observar en el anexo de cálculos del núcleo en el 1.1.4, llegamos a que los lados del cuadrado deben ser de 177.44mm, pero se redondea a 180mm.

Por tanto, tras este cambio, la sección transversal cambiará y quedará un valor más simple para poder proseguir con los cálculos, y quedará como la raíz cuadrada de este valor que como se puede ver en el anexo de cálculos del núcleo en el 1.1.5, queda $A_i=32400\text{mm}^2$.

Con este valor, aplicando otra vez la fórmula inicial de la sección transversal, es decir, iterando, se llega al valor definitivo de la $B_{\max}$ que como se puede ver en el anexo de cálculos del núcleo en el 1.1.6, es de 1.51 Wb/mm^2 .

Diámetro del círculo circunscrito al núcleo

Este es un parámetro que se utiliza para la geometría de las ventanas del transformador, proviene del cálculo de los transformadores de área transversal circular, que suelen ser los más comunes, y utilizan estos valores para la colocación de las bobinas y el espaciado para el paso del refrigerante y los dieléctricos, para calcularlo se asume que la sección calculada es una sección transversal circular y no cuadrada, como es en este caso de estudio, y como se puede ver en el anexo de cálculos del núcleo en el 1.1.7, se llega a un valor de $d=203.11\text{mm}$

Cálculo del área de la ventana

Se debe calcular el área del hueco que existe en los transformadores entre las columnas de cada fase, y a eso es a lo que se refiere el término coloquial ventana, suele cumplir una proporción de un poco más del doble de alto que de ancho.

Para su correcto cálculo se deben elegir dos parámetros que dependen de distintas variables, que son:

-La densidad de corriente δ , que se asume un valor de 2.5 A/mm^2 , ya que este transformador es de distribución y no de gran potencia, por lo que la refrigeración que requiere se realiza con tubos y radiadores, y este valor se ajusta a este tipo de refrigeración

-El factor de espaciado de la ventana, $K_w=0.3118$, se escoge este valor ya que para las condiciones preliminares del transformador es el que mejor se ajusta, como se puede ver en el anexo 2, ya que no se va a tener en cuenta el espacio ocupado por otros elementos como los aislamientos

Aplicando la fórmula como se puede ver en el anexo de cálculos del núcleo en el 1.1.8, llegamos a un valor de $A_w=105000\text{mm}^2$

Como la sección de la ventana es rectangular y sabiendo que el alto debe ser aproximadamente un poco más grande del doble del ancho, se calculan sus dimensiones.

El ancho debe ser cercano al diámetro del círculo circunscrito al núcleo, debido a parámetros geométricos derivados de la construcción de los núcleos de sección transversal circular, que ha sido calculado previamente, por lo cual, sabiendo que dicho diámetro es de 203.11mm, se escoge un ancho de 210mm, para que cumpla la condición.

A partir de esto, se divide el área de la ventana entre el ancho de la ventana para sacar la otra dimensión, el alto, que como se puede ver en el anexo de cálculos del núcleo en el 1.1.9, es de 500mm.

Número de vueltas del bobinado de baja tensión, N_{BT}

Para el cálculo del número de vueltas del bobinado de baja tensión, se ha de dividir el valor nominal de baja tensión que tiene el transformador entre los voltios por vuelta que se tengan, para así hallar el número de vueltas que debe tener el bobinado para conseguir llegar a la tensión nominal del transformador.

Como se puede ver en el anexo de cálculos del núcleo en el 1.1.10, se llega a un valor de $N_{BT}=77$

Número de vueltas del bobinado de alta tensión, N_{AT}

Para el cálculo del número de vueltas del bobinado de alta tensión, se ha de dividir el valor nominal de alta tensión que tiene el transformador entre los voltios por vuelta que se tengan, para así hallar el número de vueltas que debe tener el bobinado para conseguir llegar a la tensión nominal del transformador.

Como se puede ver en el anexo de cálculos del núcleo en el 1.1.11, $N_{AT}=1539$

7.1.2 Diseño del conductor de baja tensión

Corriente por fase del bobinado de baja tensión

Teniendo en cuenta que la conexión del bobinado de baja tensión es en triángulo y sabiendo que, por tanto, la tensión de línea es igual a la tensión de fase, pero la corriente de línea de raíz de 3 veces mayor que la de fase.

La corriente por fase se calcula a partir de la fórmula de la potencia aparente trifásica que es 3 veces la corriente de fase por la tensión de fase, sabiendo el valor de la potencia aparente, 800KVA, y de la tensión de fase, 1KV, se despeja la corriente de fase que como se puede ver en el anexo de cálculos del conductor en baja tensión en el 1.2.1, da $I_F=266.6A$

Área del conductor del bobinado de baja tensión, a_{BT}

Para hallar el área del conductor de baja tensión, se divide la corriente por fase previamente calculada entre la densidad de corriente, que como se puede ver en el anexo de cálculos del conductor en baja tensión en el 1.2.2, da $106.6mm^2$.

Dado que los conductores son de sección circular, hallamos el diámetro de dicha sección aplicando la fórmula para secciones circulares, que como se puede ver en el anexo de cálculos del conductor en baja tensión en el 1.2.3, es 11.65mm, pero se escoge $d=12mm$.

Debido a este cambio, se recalcula el área del conductor del bobinado de baja tensión, que como se puede ver en el anexo de cálculos del conductor en baja tensión en el 1.2.4, llega a $a_{BT}=113.1mm^2$

7.1.3 Diseño del conductor de alta tensión

Corriente por fase del bobinado de alta tensión

Teniendo en cuenta que la conexión del bobinado de alta tensión es en triángulo y sabiendo que, por tanto, la tensión de línea es igual a la tensión de fase, pero la corriente de línea de raíz de 3 veces mayor que la de fase.

La corriente por fase se calcula a partir de la fórmula de la potencia aparente trifásica que es 3 veces la corriente de fase por la tensión de fase, sabiendo el valor de la potencia aparente, 800KVA, y de la tensión de fase, 20KV, se despeja la corriente de fase que como se puede ver en el anexo de cálculos del conductor en alta tensión en el 1.3.1 da, $I_F=13.3A$

Área del conductor del bobinado de alta tensión, a_{AT}

Para hallar el área del conductor de alta tensión, se divide la corriente por fase previamente calculada entre la densidad de corriente, que como se puede ver en el anexo de cálculos del conductor en alta tensión en el 1.3.2, da 5.3mm^2 .

Dado que los conductores son de sección circular, hallamos el diámetro de dicha sección aplicando la fórmula para secciones circulares, que como se puede ver en el anexo de cálculos del conductor en alta tensión en el 1.3.3, es 2.61mm , pero se escoge $d=3\text{mm}$.

Debido a este cambio, se recalcula el área del conductor del bobinado de baja tensión, que como se puede ver en el anexo de cálculos del conductor en alta tensión en el 1.3.4, se llega a $a_{AT}=7.1\text{mm}^2$

Superficie ocupada por el cobre en cada ventana

Para hallar la superficie que ocupa el cobre de cada ventana, es decir, la superficie aprovechada por el conductor, se calcula como 2 veces lo que ocupa el bobinado de alta tensión y lo que ocupa el bobinado de baja tensión, se multiplica por dos ya que la ventana siempre está compartida por dos fases.

Lo que ocupan los bobinados, tanto el de baja como el de alta tensión, se calcula multiplicando el área de los respectivos conductores por el número de vueltas de cada bobinado.

Este valor, estará estrechamente ligado con el previamente elegido K_w , ya que, debido a las características del transformador sometido a estudio, la gran parte del espacio ocupado por algún elemento en la ventana, será el ocupado por el cobre, ya que no se tienen en cuenta el dieléctrico o el espacio para el paso del refrigerante, ni otros elementos constructivos para el soporte mecánico o protección contra golpes como se explicó en el apartado del alcance

Por tanto, como se puede ver en el anexo de cálculos del conductor en alta tensión en el 1.3.5, se llega a un valor de 39271.2mm^2

7.1.4 Diseño del bobinado de baja tensión

Número de capas

Se debe elegir el número de capas que tendrá el bobinado de baja tensión para así determinar la altura que acabará teniendo dicho bobinado, ya que al elegir las se define lo agrupadas que van a estar las vueltas.

Para el bobinado de baja tensión, por indicación del libro "*Design and testing of electrical machines*" y de la experiencia empírica se ha podido ver que se suelen tomar valores constructivos de menos de 6 capas generalmente, en función de la tensión nominal de trabajo del transformador, por ello en este bobinado de baja tensión se ha decidido tomar como valor 2 capas

Vueltas por capa

Para su cálculo se divide el número de vueltas del bobinado, $N_{BT}=77$, entre el número de capas, que se eligen 2, que como se puede ver en el anexo de cálculos del bobinado de baja tensión en el 1.4.1, da 38.5, que se dejan en 39 vueltas por capa

Con esto se está calculando de manera indirecta la altura final del bobinado de baja tensión, así como lo concentradas que van a estar las vueltas de dicho bobinado

Altura total del bobinado de baja tensión

Este parámetro se refiere a la altura que tendrá el bobinado en conjunto, se calcula como el número de vueltas por capa, 39, multiplicado por el diámetro del conductor de baja tensión previamente calculado, 12mm, que como se puede ver en el anexo de cálculos del bobinado de baja tensión en el 1.4.2, se llega a un valor de $h_{BT}=468\text{mm}$

Lado interior del bobinado de baja tensión

Como los bobinados del transformador, tanto de alta tensión como de baja tensión, son de área cuadrada, el lado interior será la distancia desde el centro de la columna de cada fase a su respectivo bobinado de baja tensión.

Para su cálculo se ha de tener en cuenta, que no se ha dejado espacio entre el bobinado y el núcleo debido a que, en este estudio, no se tienen en cuenta los espacios ocupados por los dieléctricos ni tampoco el espacio para el paso del refrigerante, se ceñirá a un estudio de las propiedades electromagnéticas.

Por tanto, con todo esto, nos queda que el lado interior del bobinado de baja tensión va a coincidir con el lado exterior del núcleo, ya que están pegados, por ello, como se puede ver en el anexo de cálculos del bobinado de baja tensión en el 1.4.3, el lado interior es la mitad del ancho de la columna de cada fase, es decir, $L_{INT}=90\text{mm}$

Anchura del bobinado de baja tensión

La anchura del bobinado de baja tensión se refiere a la distancia entre el lado interior y el lado exterior de dicho bobinado.

Para el cálculo de la anchura del bobinado, se ha de multiplicar el número de capas por el diámetro del conductor correspondiente, que como se puede ver en el anexo de cálculos del bobinado de baja tensión en el 1.4.4, da 24mm.

Lado exterior del bobinado de baja tensión

El lado externo se calculará como la suma entre el lado interno, 90mm, y la anchura del propio bobinado, 24mm, que, en este caso, como se puede ver en el anexo de cálculos del bobinado de baja tensión en el 1.4.5, será $L_{EXT}=114\text{mm}$

Será el punto más alejado del bobinado de baja tensión con respecto al centro de la columna de la fase correspondiente

Lado medio del bobinado de baja tensión

El lado medio es la distancia entre el centro de la columna de cada fase y la mitad del grosor del bobinado, se calculará como la suma del lado interior y el exterior entre 2, que como se puede ver en el anexo de cálculos del bobinado de baja tensión en el 1.4.6 da 102mm

Perímetro medio del bobinado de baja tensión

El perímetro medio, será el perímetro del lado medio del bobinado, que, por geometría, será 8 veces el lado medio del bobinado, que como se puede ver en el anexo de cálculos del bobinado de baja tensión en el 1.4.7, queda 816mm

Este valor será importante para posibilitar el cálculo de la resistencia que habrá en el bobinado de baja tensión ya que éste se calcula con respecto al valor medio de la geometría para permitir un cálculo más exacto

Resistencia del bobinado de baja tensión, R_{BT}

Para calcular la resistencia total del bobinado de baja tensión, se aplica la fórmula como se puede ver en el anexo de cálculos del bobinado de baja tensión en el 1.4.8.

Para este cálculo cabe recordar que para el estudio se supone un valor de temperatura constante igual a 75 grados centígrados.

A partir de la resistividad del cobre a 75 grados, $\rho_{75} = 0.02097 \Omega \cdot m/mm^2$, el perímetro medio, 816mm, el número de vueltas, $N_{BT}=77$ y dividido entre el área transversal del conductor, $a_{BT}=113.1mm^2$, nos permite hallar la resistencia, que como se puede ver en el anexo de cálculos del bobinado de baja tensión en el 1.4.8, queda $R_{BT}=0.01155 \Omega$

Reactancia del bobinado de baja tensión, X_{BT}

Para hallar la reactancia del bobinado, se multiplica por 5 el valor de la resistencia del bobinado de baja tensión, que como se puede ver en el anexo de cálculos del bobinado de baja tensión en el 1.4.9, queda $X_{BT}=0.05775 \Omega$.

Se utiliza esta relación debido a la experiencia empírica, en la que en transformadores de distribución con condiciones preliminares parecidas al que se está estudiando, se cumple esta relación y se ciñe a los resultados prácticos finales con bastante exactitud, es decir, es una correcta aproximación.

Además, cabe recordar que, las pérdidas eléctricas en un circuito eléctrico están asociadas a las resistencias, el efecto Joule, y por tanto para conseguir un buen rendimiento y una minimización de las pérdidas eléctricas se debe disminuir el valor de las resistencias.

Sin embargo, a su vez se busca una impedancia alta para evitar los cortocircuitos, pero sin aumentar el valor de las resistencias, es decir, sin aumentar el valor de las pérdidas eléctricas, por ello se aprovecha el valor de la reactancia para aumentar el valor de la impedancia y mantener muy bajo el valor de la resistencia.

Y por esto, se busca que la reactancia sea cercana a 5 veces mayor que la resistencia.

Inductancia del bobinado de baja tensión, L_{BT}

Se calcula dividiendo el valor de la reactancia de baja tensión, $R_{BT}=0.01155 \Omega$, entre la pulsación angular que está relacionada con la frecuencia, que en nuestro caso es 60 Hz, que como se puede ver en el anexo de cálculos del bobinado de baja tensión en el 1.4.10 queda $L_{BT}=153.18 \cdot 10^{-6} \text{ H}$

7.1.5 Diseño del bobinado de alta tensión**Número de capas**

Se debe elegir el número de capas que tendrá el bobinado de alta tensión para así determinar la altura que acabará teniendo dicho bobinado, ya que al elegir las se define lo agrupadas que van a estar las vueltas.

Para el bobinado de alta tensión, por indicación del libro "*Design and testing of electrical machines*" y de la experiencia empírica se ha podido ver que se suelen tomar valores constructivos de menos de 22 capas generalmente, en función de la tensión nominal de trabajo del transformador, por ello en este bobinado de alta tensión se ha decidido tomar como valor 13 capas

Vueltas por capa

Para su cálculo se divide el número de vueltas del bobinado, $N_{AT}=1539$, pero que para estos cálculos se pone el número de vueltas por 1.05 es decir, 1616 vueltas, entre el número de capas, que se tienen 13, que como se puede ver en el anexo de cálculos del bobinado de alta tensión en el 1.5.1, da 124.3, que se dejan en 125 vueltas por capa

Con esto se está calculando de manera indirecta la altura final del bobinado de alta tensión, así como lo concentradas que van a estar las vueltas de dicho bobinado

Altura total del bobinado de alta tensión

Esto es la altura que tendrá el bobinado en conjunto, se calcula como el número de vueltas por capa, 125, multiplicado por el diámetro del conductor de alta tensión previamente calculado, 3mm, que como se puede ver en el anexo de cálculos del bobinado de alta tensión en el 1.5.2, se llega a un valor de $h_{AT}=375\text{mm}$

Lado interior del bobinado de alta tensión

Como los bobinados del transformador, tanto de alta tensión como de baja tensión, son de área cuadrada, el lado interior será la distancia desde el centro de la columna de cada fase a su respectivo bobinado de alta tensión.

Para su cálculo se ha de tener en cuenta, que no se ha dejado espacio entre el bobinado de baja tensión y el bobinado de alta tensión, debido a que, en este estudio, no se tienen en cuenta los espacios ocupados por los dieléctricos ni tampoco el espacio para el paso del refrigerante, se ceñirá a un estudio de las propiedades electromagnéticas.

Por tanto, con todo esto, nos queda que el lado interior del bobinado de alta tensión va a coincidir con el lado exterior del bobinado de baja tensión, ya que están pegados, por ello, como se puede ver en el anexo de cálculos del bobinado de alta tensión en el 1.5.3, el lado interior es $L_{INT}=114\text{mm}$

Anchura del bobinado de alta tensión

La anchura del bobinado de alta tensión se refiere a la distancia entre el lado interior y el lado exterior de dicho bobinado.

Para el cálculo de la anchura del bobinado, se ha de multiplicar el número de capas, 13, por el diámetro del conductor correspondiente, en este caso 3mm, que como se puede ver en el anexo de cálculos del bobinado de alta tensión en el 1.5.4, da 39mm.

Lado exterior del bobinado de alta tensión

El lado externo se calculará como la suma entre el lado interno y la anchura del propio bobinado que, en este caso, como se puede ver en el anexo de cálculos del bobinado de alta tensión en el 1.5.5, será $L_{EXT}=153\text{mm}$

Será el punto más alejado del bobinado de alta tensión con respecto al centro de la columna de la fase correspondiente

Lado medio del bobinado de alta tensión

El lado medio es la distancia entre el centro de la columna de cada fase y la mitad del grosor del bobinado, se calculará como la suma del lado interior y el exterior entre 2, que como se puede ver en el anexo de cálculos del bobinado de alta tensión en el 1.5.6, da 133.5mm

Perímetro medio del bobinado de alta tensión

El perímetro medio, será el perímetro del lado medio del bobinado, que, por geometría, será 8 veces el lado medio del bobinado, como se puede ver en el anexo de cálculos del bobinado de alta tensión en el 1.5.7, queda 1068mm

Este valor será importante para posibilitar el cálculo de la resistencia que habrá en el bobinado de alta tensión ya que éste se calcula con respecto al valor medio de la geometría para permitir un cálculo más exacto

Resistencia del bobinado de alta tensión, R_{AT}

Para calcular la resistencia total del bobinado de alta tensión, se aplica la fórmula como se puede ver en el anexo de cálculos en el 1.5.8, que a partir de la resistividad del cobre a 75 grados, $\rho_{75} = 0.02097 \Omega \cdot m/mm^2$, el perímetro medio, 1068mm, el número de vueltas, $N_{AT}=1539$ y dividido entre el área transversal del conductor, $a_{AT}=7.1mm^2$, nos permite hallar la resistencia, que como se puede ver en el anexo de cálculos del bobinado de alta tensión en el 1.5.8, queda $R_{AT}=4.813 \Omega$

Reactancia del bobinado de alta tensión, X_{AT}

Para hallar la reactancia del bobinado, se multiplica por 5 el valor de la resistencia del bobinado de alta tensión, que como se puede ver en el anexo de cálculos del bobinado de alta tensión en el 1.5.9, queda $X_{AT}=24.064 \Omega$

Además, cabe recordar que, las pérdidas eléctricas en un circuito eléctrico están asociadas a las resistencias, el efecto Joule, y por tanto para conseguir un buen rendimiento y una minimización de las pérdidas eléctricas se debe disminuir el valor de las resistencias.

Sin embargo, a su vez se busca una impedancia alta para evitar los cortocircuitos, pero sin aumentar el valor de las resistencias, es decir, sin aumentar el valor de las pérdidas eléctricas, por ello se aprovecha el valor de la reactancia para aumentar el valor de la impedancia y mantener muy bajo el valor de la resistencia.

Y por esto, se busca que la reactancia sea cercana a 5 veces mayor que la resistencia.

Inductancia del bobinado de alta tensión, L_{AT}

Se calcula dividiendo el valor de la reactancia de baja tensión, $R_{AT}=4.813 \Omega$, entre la pulsación angular que está relacionada con la frecuencia, que en nuestro caso es 60 Hz, que como se puede ver en el anexo de cálculos del bobinado de alta tensión en el 1.5.10, queda $L_{AT}=63.833 \cdot 10^{-3} \text{ H}$

7.1.6 Elección de la resistencia de carga

La resistencia eléctrica es el modelo que representa la carga conectada al transformador en carga asignada que, según las condiciones preliminares, $V_{BT}=1000\text{V}$ y $S=800\text{KVA}$, se puede llegar a un valor que como se puede ver en el anexo de cálculos de la resistencia de carga en el 1.6, da $R_{CARGA}=1.25\Omega$.

Si la elección es correcta, al ser el modelo eléctrico que representa la carga conectada al transformador en carga asignada, debe disipar 800KVA que es el valor que se nos da como condición preliminar.

Además, cabe destacar que, al ser una resistencia, solo disipa potencia activa, nada de potencia reactiva por lo cual la potencia disipada será totalmente activa y estará formada por 800KW y 0Kvar

7.1.7 Relación de transformación

La relación de transformación es una relación directa entre la tensión del bobinado de alta tensión y la del bobinado de baja tensión, depende siempre del número de vueltas de cada bobinado, pero también se puede poner en función de las corrientes y las resistencias de cada bobinado respectivamente.

Si se requiere, como en este caso de estudio, un transformador reductor, es decir, que reduzca la tensión de entrada transformándola a un valor menor a su salida, se deben tener menos vueltas en el bobinado secundario que en el primario. Por contra, para poder mantener la potencia total, si se disminuye la tensión, se deberá aumentar la corriente en la misma proporción y esta proporción es el valor de la relación de transformación

Siendo, la relación de transformación: $m = \frac{V_{AT}}{V_{BT}} = \frac{I_{BT}}{I_{AT}} = \frac{N_{AT}}{N_{BT}} = \sqrt{\frac{R_{AT}}{R_{BT}}}$

Que, en el caso del transformador de estudio, como podemos ver en el anexo de cálculos de la relación de transformación en el 1.7, da $m=20$

7.2 DISEÑO CON JMAG

Ahora, todo el diseño tradicional del transformador, habría que llevarlo al programa con el que se va a realizar el estudio, JMAG, para ello se ha de comenzar con el ajuste de los parámetros del programa y de su funcionamiento, así como de su comportamiento en los cálculos matemáticos.

A partir de ahí, se prosigue con la modelización geométrica en un modelo de CAD con el editor geométrico del propio programa.

El conjunto se dividirá en 3 partes, el núcleo, el bobinado de baja tensión y el bobinado de alta tensión, cada parte se irá añadiendo al conjunto, empezando por un dibujo en 2D para después convertirlo en 3D.

Una vez conseguidos los elementos geométricos por separado, se cierra la ventana del editor geométrico y se tendría el nuevo transformador con los valores correspondientes a la geometría calculados en el anexo de cálculos.

A continuación, se asignan los materiales de los que van a estar compuestas las distintas partes del transformador y se varían algunos parámetros como la laminación del material del núcleo ferromagnético.

Con el transformador y los materiales, se debería iniciar un estudio, que en nuestro caso será un estudio magnético en frecuencia, 60Hz.

Tras esto, se realiza el circuito eléctrico interior del transformador, donde aparecerán la fuente de tensión, las impedancias de cada bobinado, tanto el de alta tensión como el de baja tensión y las resistencias de carga, además, se deberán añadir unos terminales para los futuros cálculos y una referencia de tensión que hará las funciones de “tierra”.

Una vez finalizado el circuito, con sus valores previamente calculados en el anexo de cálculos, se ponen las condiciones en las que se van a realizar el estudio que serán:

- FEM Coil

- Condición de perímetro de simetría o “Symmetry Boundary”

-Condición de pérdidas del hierro en el núcleo o “Iron Loss”

En cada condición habrá que determinar unos parámetros que más adelante serán explicados.

A continuación, se realizará el mallado con el que se van a hacer los cálculos mediante el método de los elementos finitos y se personalizará el mallado en función de cada parte del transformador.

Por último, se procederá a la simulación y el cálculo de las variables electromagnéticas del transformador y la visualización de los resultados para comprobar su correspondencia con lo calculado previamente.

7.2.1 Ajustes previos de computación

Para empezar con el estudio en JMAG, se deben elegir los parámetros con los cuales se quiere que trabaje el software, así como sus métodos de resolución y las características de los circuitos eléctricos que se realizarán, entre otras cosas.

Para empezar, como se puede observar en el apartado de planos de los ajustes de computación, en el 1.1 se trabajará con una frecuencia no variable de 60Hz.

También, como se puede observar en el apartado de planos de los ajustes de computación, en el 1.3 se indica que, a la hora del análisis del circuito eléctrico, se debe tener en cuenta la conversión serie/paralelo, que por defecto suele estar en no usar y llevaría a otros resultados diferentes.

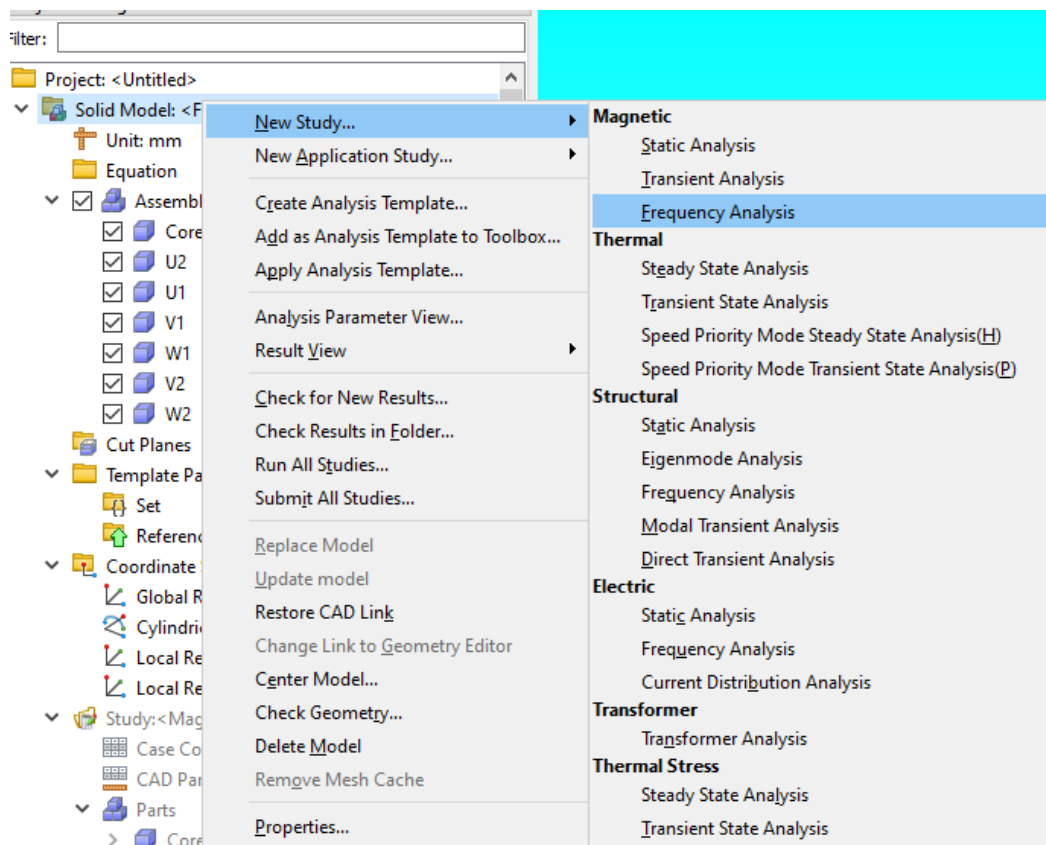
Cabe destacar también, como se puede observar en el apartado de planos de los ajustes de computación, en el 1.4, para reducir el tiempo de espera en las simulaciones del estudio, se ha requerido al ordenador que trabaje mediante la computación en paralelo, en este caso con 8 núcleos, que es el máximo que tiene el ordenador usado para este estudio.

Como se puede observar en el apartado de planos de los ajustes de computación, en el 1.5 se definen las características del cálculo de las pérdidas del hierro en el transformador.

En el apartado de planos de los ajustes de computación, en el 1.6 y el 1.7 se definen los procedimientos de resolución tanto lineal como no lineal que serán usados durante toda la resolución del estudio.

En general, cualquier variación de estos parámetros da lugar a unos resultados totalmente distintos, por lo que una correcta elección al comienzo del estudio es de vital importancia para llegar a los resultados requeridos.

Tras esto se debe empezar el estudio con los ajustes que ya han sido editados



7.2.2 Diseño geométrico

Para empezar con el diseño geométrico se debe iniciar desde el estudio, abriendo el apartado desplegable de "Project" y seleccionar "Geometry Editor", tras esto se abrirá otro menú desplegable del que se deberá escoger la opción "Create Geometry", a partir de ahí se abrirá el editor geométrico desde donde se deberá empezar con la creación de la geometría del transformador.

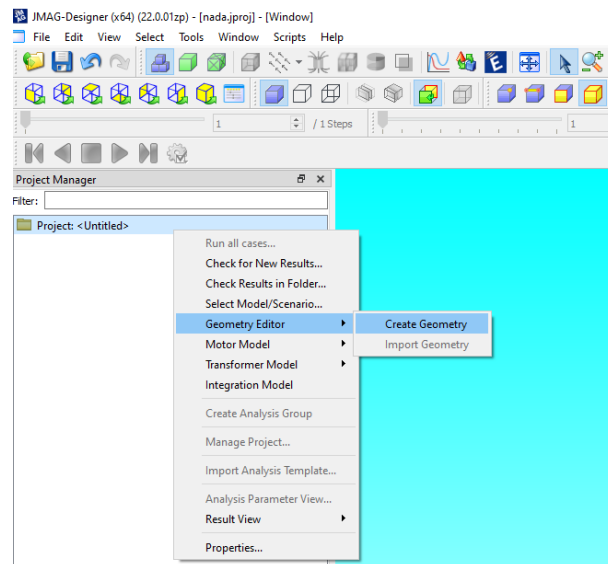


Imagen ilustrativa de cómo acceder al editor geométrico

Diseño del núcleo del transformador en el edito geométrico de JMAG

Empezamos por el núcleo, el cual tiene dimensiones que han sido previamente calculadas en el anexo de cálculos.

Cabe recordar que, como se señaló en el apartado de alcance, para la simplicidad del cálculo computacional se construirá solo una mitad del transformador, asumiendo que tiene un plano de simetría geométrica que permite asumir que todo lo que pasa en un lado pasará en el otro de la misma manera por lo cual solo hará falta el cálculo de lo sucedido en una de las mitades, y por ello se construirá solo la mitad del transformador calculado.

Comenzamos con un dibujo en 2D con las dimensiones totales del transformador, que es un rectángulo de 960x860 mm ancho y alto respectivamente, tras esto se deben realizar las ventanas o huecos que hay entre las columnas de cada fase, a partir de ahora serán nombradas como ventanas, todo el rato.

Para ello, se realiza una recta vertical a 180mm a la derecha de la esquina inferior izquierda y otra recta horizontal a 180mm hacia arriba de la misma esquina, y en el punto de intersección de ambas rectas, se tendría un punto de la ventana, como se puede observar en el apartado de planos en el plano 3.1.

Desde ese punto se realiza un rectángulo con las dimensiones de las ventanas, 210x500 mm ancho y alto respectivamente, para realizar la otra ventana se actúa de la misma manera, pero desde la otra esquina, la inferior derecha.

Una vez formados estos 3 polígonos, se utiliza el comando "Create Region" que transforma los polígonos cerrados en áreas que funcionan como un conjunto en vez de como líneas independientes.

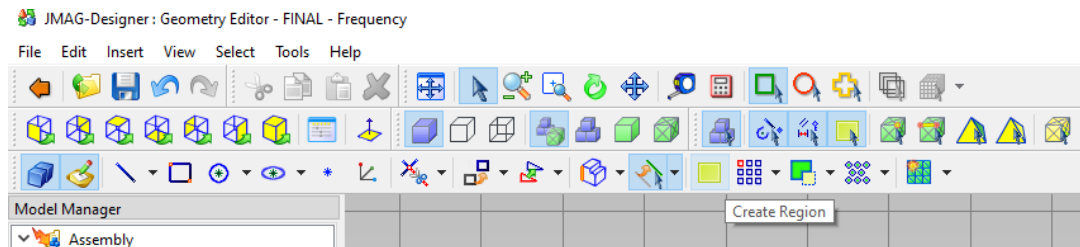


Imagen ilustrativa del comando "Create Region"

Una vez conseguidas las 3 áreas por separados se eliminan las dos correspondientes a las ventanas y con ello ya se tendría el alzado del transformador construido, tras esto se iría a la pantalla de 3D donde se utilizaría el comando extrusión de valor la mitad de su profundidad, debido a la condición de simetría, por tanto, se extruiría un valor de 90mm.

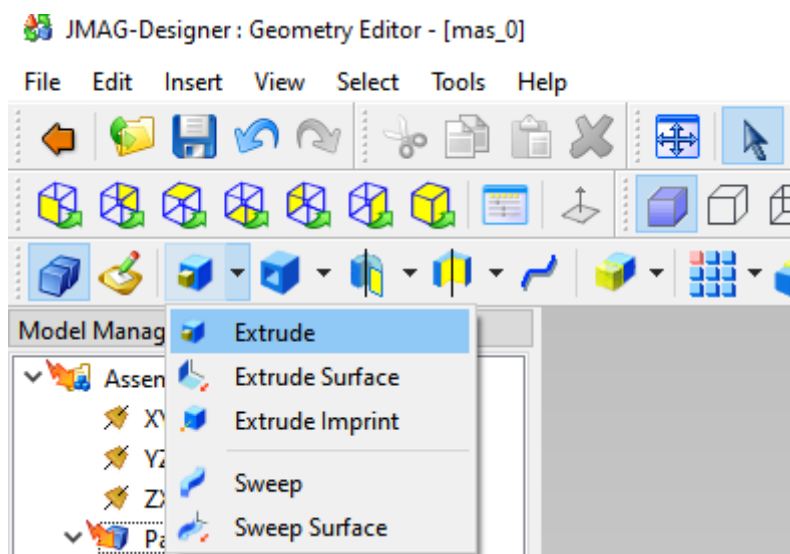


Imagen ilustrativa del comando "Extrusión"

Con todo esto ya se tendría realizada la construcción geométrica del núcleo, como se puede observar en el apartado de planos en el plano 3.2

Diseño del bobinado de baja tensión en el editor geométrico de JMAG

Para el bobinado de baja tensión, primero se realizará un plano de referencia que sea horizontal y esté posicionado a la mitad de la altura del transformador, es decir a $860/2=430\text{mm}$, para así tener en esa posición el plano en 2D y poder extruir hacia ambos lados.

Una vez conseguido el plano de referencia, se iniciaría un dibujo 2D en dicho plano, en el que se dibujaría la forma que tendrá visto en planta el bobinado de baja tensión, cuyas dimensiones han sido previamente calculadas.

Para ello, se realizará el contorno que tendrá teniendo en cuenta los valores calculados de lado interior, anchura y lado exterior. Para empezar, se debe dibujar sobre el contorno del propio núcleo ya construido porque cabe recordar que como no se van a dejar espacios para refrigeración ni dieléctricos, el lado interior del bobinado de baja tensión estará pegado al lado exterior del núcleo.

Una vez realizadas dichas líneas, se realizan unas paralelas a ellas usando como valor de separación la anchura del bobinado de baja tensión que ha sido previamente calculado, $anchura_{BT}=24\text{mm}$. Habiendo hecho esto, se cierra el polígono uniendo los puntos que queden abiertos y se aplica el comando "Create Region", y de esta manera se genera el área correspondiente al bobinado de baja tensión visto en planta, como se puede observar en el apartado de planos en el plano 3.3.

Volviendo al 3D, se utiliza el comando extrusión mostrado anteriormente, pero en este caso con la opción de extruir hacia ambos lados y con un valor de $h_{BT}=468\text{mm}$

Con esto ya se tendría construido en 3D el bobinado de baja tensión respetando los valores previamente calculados

Diseño del bobinado de alta tensión en el editor geométrico de JMAG

Para el bobinado de alta tensión, primero se realizará un plano de referencia que sea horizontal y esté posicionado a la mitad de la altura del transformador, es decir a $860/2=430\text{mm}$, para así tener en esa posición el plano en 2D y poder extruir hacia ambos lados. Procediendo de la misma manera que para el bobinado de baja tensión

Una vez conseguido el plano de referencia, se iniciaría un dibujo 2D en dicho plano, en el que se dibujaría la forma que tendrá visto en planta el bobinado de alta tensión.

Para ello, se realizará el contorno que tendrá teniendo en cuenta los valores calculados de lado interior, anchura y lado exterior. Para empezar, se debe dibujar sobre el contorno del propio bobinado de baja tensión ya construido porque cabe recordar que como no se van a dejar espacios para refrigeración ni dieléctricos, el lado interior del bobinado de alta tensión estará pegado al lado exterior del bobinado de baja tensión.

Una vez realizadas dichas líneas, se realizan unas paralelas a ellas usando como valor de separación la anchura del bobinado de baja tensión que ha sido previamente calculado, $anchura_{AT}=39\text{mm}$. Habiendo hecho esto, se cierra el polígono uniendo los puntos que queden abiertos y se aplica el comando “Create Region”, y de esta manera se genera el área correspondiente al bobinado de alta tensión visto en planta, como se puede observar en el apartado de planos en el plano 3.4.

Volviendo al 3D, se utiliza el comando extrusión como se ha mostrado anteriormente, pero en este caso con la opción de extruir hacia ambos lados y con un valor de $h_{AT}=375\text{mm}$

Con esto ya se tendría construido en 3D el bobinado de alta tensión respetando los valores previamente calculados como se puede observar en el plano 3.10 en los planos 3.10.1, 3.10.2 y 3.10.3 que representan las vistas más ilustrativas.

7.2.3 Asignación de materiales

Una vez realizada la construcción geométrica, se deben asignar los materiales a cada una de las nuevas piezas generadas, para ello como se puede ver en las condiciones preliminares se deben utilizar distintos materiales para los bobinados y el núcleo.

Para el bobinado se suelen elegir tanto el aluminio como el cobre debido a que son los materiales que tienen propiedades más favorables para este tipo de uso, pero para este caso cogeremos el más común de los dos que es el cobre a pesar de ser más caro, tiene mejores prestaciones aplicadas al tipo de estudio.

Para el núcleo se utiliza un material ferromagnético en este caso de la librería del programa, la cual se puede observar en el apartado de planos en el plano 3.4, se debía escoger como se explicó previamente en las condiciones preliminares, la lámina de acero 50JN270 de la empresa japonesa de aceros JFE Steel debido a sus propiedades.

Al material ferromagnético del núcleo, al acero 50JN270, se le aplica un factor de laminación del 98% que se escoge en la pantalla de características del material.

Las propiedades del acero laminado 50JN270 se pueden observar en el anexo 3, cabe destacar que el anexo 3.4, solo muestra las pérdidas a 60Hz y en un rango de entre 1.1 y 1.7 teslas porque son los parámetros de este estudio.

La laminación al 98% del material ferromagnético del núcleo se realiza para así reducir las corrientes parásitas o de Foucault y con ello reducir las pérdidas.

Al estar sometido el núcleo, que es conductor, a un flujo magnético variable, es inevitable que aparezcan en él corrientes parásitas, entonces, si se dispone de un núcleo laminado en chapas metálicas apiladas y aisladas entre sí, mediante algún dieléctrico como el barniz, se restringe en gran medida la circulación de corriente a cada chapa, reduciendo las pérdidas

La importancia del espesor es, debido a que las pérdidas por corrientes de Foucault en el núcleo de un transformador dependen del cuadrado del espesor de las chapas; así que conviene tener chapas delgadas.

Los de ferrita al no ser un material conductor, no necesitan la laminación y por ello los núcleos de ferrita son de 1 sola pieza

7.2.4 Puesta en marcha del estudio

Una vez se han asignado los materiales, ya se puede comenzar el estudio propiamente en el programa JMAG, eligiendo la opción de estudio magnético en frecuencia, que en este caso se elegirán los 60Hz que se impuso en las condiciones preliminares.

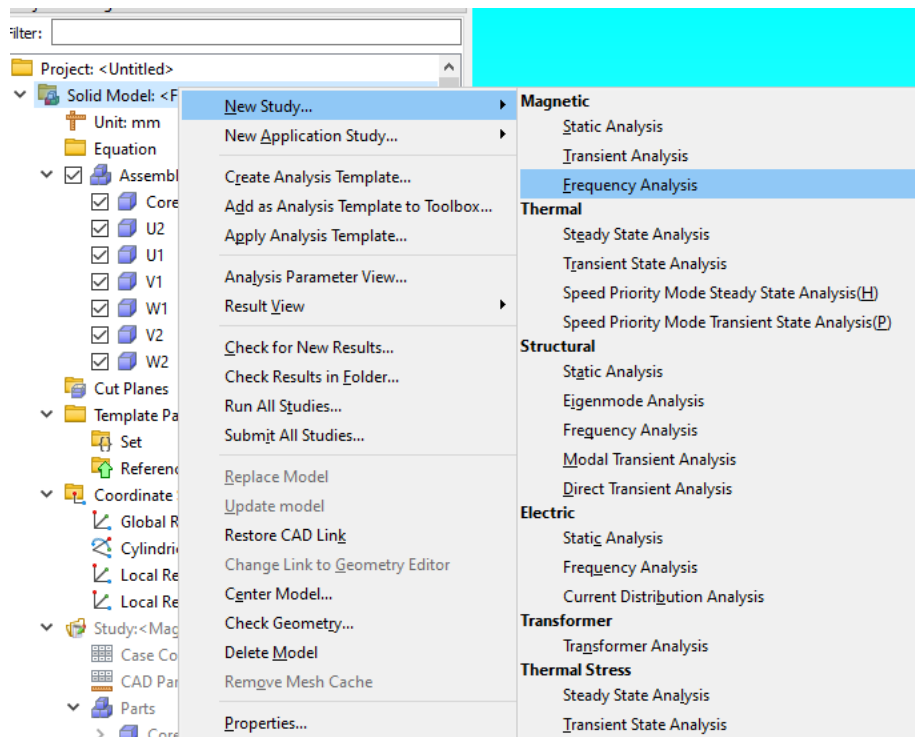


Imagen ilustrativa de puesta en marcha del circuito

Una vez puesto en marcha el estudio magnético, aparecerán nuevas opciones a rellenar en la pantalla que serán las que se van a explicar a continuación, las cuales se ha de tener en cuenta que no se pueden editar antes de poner en marcha el estudio y que son propias de cada tipo de estudio que se puede seleccionar en la extensa biblioteca de JMAG que permite estudios muy complejos con muchas variables a tener en cuenta, como las mecánicas, las térmicas y las electromagnéticas que son las aplicadas en nuestro estudio

7.2.5 Creación del circuito eléctrico

Una vez se ha puesto en marcha el estudio lo primero que se debe hacer es generar un circuito eléctrico que regirá el funcionamiento interno del transformador, así como el comportamiento de los distintos elementos ya que es ahora cuando se les dará un sentido eléctrico y derivado de ello, un sentido magnético, debido a que previo a este paso son simplemente elementos geométricos.

Para el circuito se ha de tener en cuenta que en las condiciones previas ya se señaló el hecho de que los bobinados están ambos conectados en triángulo, tanto el bobinado de alta tensión como el bobinado de baja tensión, y que la carga en cambio, se conectará en estrella.

Se asignará también el punto de referencia de tensiones del circuito y se usará el modelo FEM coil para representar los bobinados.

Cabe recordar la diferencia entre triángulo y estrella, en triángulo la tensión de fase es la misma que la tensión línea pero la corriente de línea es raíz de 3 veces mayor que la corriente de fase, en cambio en estrella, es la corriente la que es igual en línea y en fase mientras que la tensión es raíz de 3 veces mayor que la tensión de fase.

$$\begin{aligned}\text{Triángulo:} \\ V_F &= V_L \\ I_L &= \sqrt{3} * I_F\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Estrella:} \\ V_F &= \sqrt{3} * V_L \\ I_L &= I_F\end{aligned}$$

En cuanto al conexionado, en estrella todas las fases comparten un terminal, en el que se conectan todas que es el punto neutro, en cambio en triángulo las fases se conectan con la anterior y la siguiente fase.

Para la realización del circuito se usarán los siguientes elementos:

-Fuente de tensión trifásica

-6 FEM coil, una por cada fase de los bobinados tanto de alta tensión como de baja tensión

-3 resistencias puras

-1 tierra o referencia de tensiones

-Cables

El circuito constará de la siguiente forma, una fuente de tensión trifásica de valor 16330, que conecta cada uno de sus terminales a cada una de las fases del bobinado de alta tensión, el cual, además, está conectado entre sí en estrella.

Por otro lado, se tiene el bobinado de baja tensión que está conectado entre sí en triángulo también y además tiene conectadas las resistencias de carga que entre ellas están conectadas en estrella compartiendo un terminal al que se define en el propio circuito como la tierra o referencia de tensiones

Para definir la fuente de tensión en JMAG, como se puede observar en el apartado 5 de planos en el plano 5.1, se tienen dos opciones, hacerlo mediante su valor de fase o su valor de línea, en este caso se elige valor de fase por lo que se debe dividir el valor dado de 20kV entre raíz de 3 y además se elige definir el valor mediante su amplitud por lo que se debe multiplicar por raíz de 2, quedando al final un valor de 16330V

$$V_{s1} = \frac{20000}{\sqrt{3}} * \sqrt{2} = 16330V$$

Para las FEM coil de alta tensión, se deben editar como se puede observar en el apartado 5 de planos en el plano 5.2, poniendo en su ventana de variables el número de vueltas del bobinado de alta tensión, 1539, la resistencia del bobinado de alta tensión, 4.813Ω y la inductancia del bobinado de alta tensión, 63.833*10⁻³ Ω, éstos son los valores que se permite en este elemento de JMAG editar y elegir como variables.

Todos los elementos se unirán entre sí con los cables que modeliza JMAG, que cabe destacar que cuando se elige un punto de referencia o cuando se intersecan dos o más cables, se señala con un punto negro gordo.

Para las FEM Coil de baja tensión, se deben editar como se puede observar en el apartado 5 de planos en el plano 5.3, poniendo en su ventana de variables, el número de vueltas del bobinado de baja tensión, 77, la resistencia del bobinado de alta tensión, 0.01155Ω y la inductancia del bobinado de alta tensión, $153.18 \cdot 10^{-6} \Omega$, éstos son los valores que se permite en este elemento de JMAG editar y elegir como variables.

Para las resistencias puras, que son el modelo eléctrico que simulan la carga que se colocaría a la salida del transformador, solamente se permite definir su valor que debido al modelo de resistencia que se está usando en este estudio se asume como constante, como se comentó en el apartado del alcance, por ello solo se define su valor que como se vio en el anexo de cálculos es de $R=1.25 \Omega$

Además, en el punto compartido por las 3 fases, se conecta el punto de referencia de tensiones.

De esta manera se obtendría el circuito eléctrico definitivo como se puede observar en el apartado 5 de planos en el plano 5.4

Cabe destacar que las fases han sido nombradas como U, V, W y que el primario se representará con un 1 y el secundario con un 2 para abreviar los nombres de los elementos

7.2.6 Definición de las condiciones

Como se comentó anteriormente, se han usado 3 condiciones propias del JMAG, dentro de su extensa biblioteca como se puede ver en el anexo 5, para el análisis y el cálculo de los resultados, condición de “Iron Loss” o pérdidas del hierro en el núcleo, condición de perímetro de simetría o “Symmetry Boundary” y la condición de FEM Coil.

A continuación, se procede a explicar cada una

Condición de “Iron Loss” o pérdidas del hierro

Es una condición que se utiliza para cambiar el método de cálculo de las pérdidas del hierro que tiene JMAG por defecto.

Utilizando esta condición, JMAG a la hora de realizar los cálculos sobre las pérdidas del hierro y su distribución, utiliza los datos de la distribución de la densidad de flujo magnético que ha sido previamente calculada a partir del análisis del campo magnético. Además, al usar este tipo de cálculo, se nos permite separar las pérdidas del hierro en sus dos componentes, las pérdidas de Joule y las pérdidas de histéresis.

La densidad de flujo magnético que utiliza en este tipo de cálculo es la llamada, densidad de flujo de referencia, que se extrae de la densidad de flujo variable en el tiempo.

Todo esto se traduce al cálculo computacional mediante unas fórmulas distintas al caso del cálculo sin la condición “Iron Loss”. Dicha fórmula es la siguiente:

$$Iron\ Loss = \sum_i^{\infty} [Wh_i(B, f) + We_i(B, f)]$$

Siendo:

-Wh, las pérdidas de histéresis de cada uno de los elementos

-We, las pérdidas de Joule de cada uno de los elementos

-B, densidad de flujo magnético de cada uno de los elementos

-f, la frecuencia

Para aplicarlo al transformador, únicamente se deberá ir a la librería de JMAG de condiciones, y donde se vea la condición llamada “Iron Loss” se aplica sobre el núcleo únicamente y se dejan todas las demás variables como venían por defecto

Condición de FEM Coil

El uso de la condición FEM Coil viene condicionado por el uso del modelo FEM Coil en el circuito eléctrico previamente explicado, donde se usaba este tipo de modelo para modelar el bobinado de alta tensión y baja tensión en cada una de las fases, definido por su número de vueltas, su resistencia y su inductancia propia.

La corriente que lo atraviesa, será positiva siempre y cuando vaya del primer terminal al segundo, si fuera en sentido contrario sería negativo

Si se utiliza la condición sin tener ningún elemento FEM Coil en el circuito eléctrico, esto da un error ya que siempre van juntas, no se pueden separar el modelo eléctrico y la condición.

Al usar esta condición, se asume que la corriente generada en el conductor con modelo FEM se calcula en función de la diferencia de potencial eléctrico entre ambos terminales de la bobina FEM.

Además, se asume que la bobina con la condición de FEM Coil es atravesada por una corriente uniforme.

Para añadir dicha condición se deben editar unos parámetros como se puede observar en el apartado 4 de los anexos

Condición de “Symmetry Boundary” o plano de simetría

Con esta condición lo que se busca es que como se comentó anteriormente se puedan simplificar y agilizar los cálculos computacionales, para ello se construirá solo una mitad del transformador, asumiendo que tiene un plano de simetría geométrica que permite aceptar que todo lo que pasa en un lado pasará en el otro de la misma manera por lo cual solo hará falta el cálculo de lo sucedido en una de las mitades.

Todo esto es posible gracias a esta condición, para la cual se tendrá que definir todas las superficies que pertenezcan a este plano de simetría para que a nivel computacional se pueda dejar el transformador solo como una mitad como se puede observar en el apartado 2 de los planos

7.2.7 Generación del mallado

Para el mallado se deberá ir al apartado de mallado “Mesh” donde se podrá activar la opción de generar mallado “Generate Mesh”, que generará un mallado por defecto que será igual para todas las partes del transformador y además de eso se generará un mallado del medio que rodea al transformador que se puede editar llamado “Air Mesh”.

Cabe recordar que el cálculo se realizará mediante el método de elementos finitos, el cual se basa en dividir las áreas en elementos, que cuanto más pequeños sean, más minucioso y costoso será el cálculo y, por tanto, mayor precisión en los resultados se obtendrá.

Se debe tener en cuenta que la relación entre el tiempo de computación, es decir, el tiempo que tarda el ordenador en calcular, y el número de elementos no es lineal, por lo que habrá que tener esto en consideración para evitar pasarse con el número de elementos y provocar con ello que el tiempo de computación se extienda mucho.

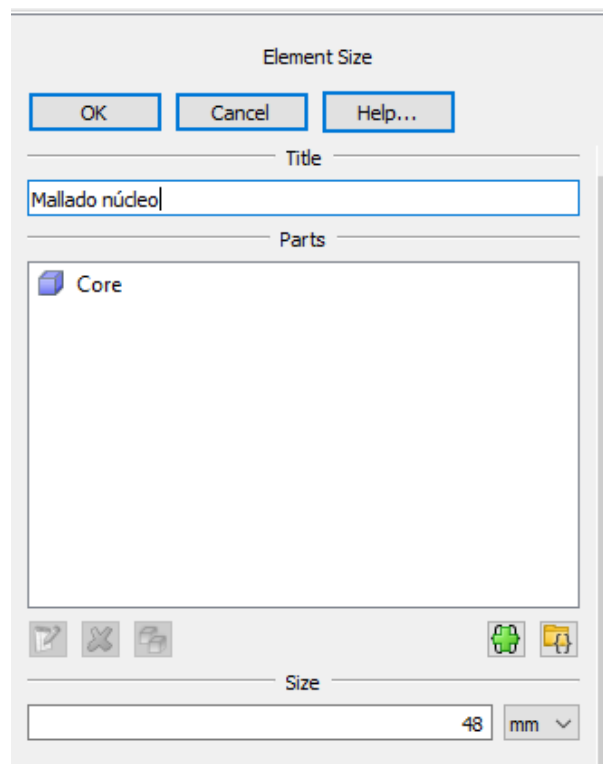
Cabe recordar que como ya se explicó, los nodos son los puntos medios de los elementos finitos y se usan para poder medir las distancias entre elementos

El proceso del mallado se dividirá en las siguientes partes

Mallado del núcleo del transformador

Para el mallado del núcleo del transformador, se requiere un número de elementos bastante mayor que el puesto por defecto ya que se requiere de una gran precisión en los resultados. Esto se produce debido a que el objeto de nuestro estudio son las pérdidas en el núcleo, por ello se requiere una mayor precisión en esta parte del transformador

Si el número de elementos es mayor, quiere decir que la separación entre los propios elementos será menor, por lo cual, ante el valor que se interponía por defecto de 70.4mm de distancia entre los elementos, se elegirá un valor de 48mm

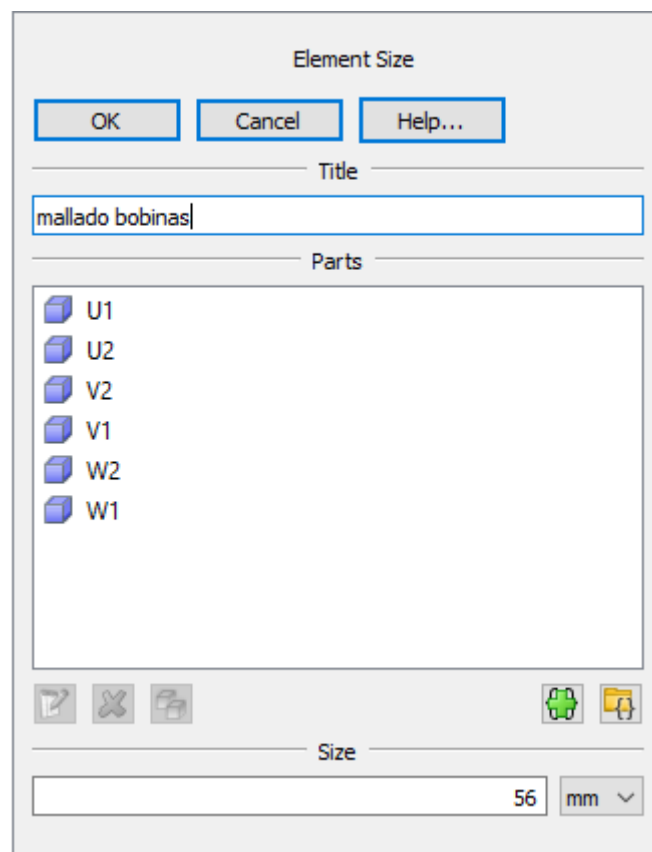


Edición del mallado del núcleo

Para elegirlo se debe ir al apartado desplegable de mallado y elegir “add size control” que desplegará otro menú en el que se deberá escoger el apartado “Part”, como se puede ver en el apartado 6 de planos en el plano 6.1, una vez ahí se abrirá un menú que nos dejará elegir el núcleo como parte a editar y a partir de ahí, se pondrá el valor de separación de los elementos

Mallado del bobinado de alta tensión

Para el mallado del bobinado de alta tensión se requiere un número de elementos cercano al puesto por defecto por el programa que en este caso es de 63.4mm, y por tanto, se escogerá como valor 56mm, ya que no se requiere tanta precisión en los cálculos como en el núcleo pero aun así el hecho de tener menor área y de necesitar también unos cálculos más o menos exactos, hacen que se escoja este valor de separación entre elementos.



Edición del mallado de los bobinados

Se debe tener en cuenta que el bobinado tiene menor área a cubrir que el núcleo, por tanto, la distancia entre elementos puede ser menor sin aumentar en gran medida el número de elementos, ya que no se debe cubrir la misma cantidad de sección

Para elegirlo se debe ir al apartado desplegable de mallado y elegir “add size control” que desplegará otro menú en el que se deberá escoger el apartado “Part”, como se puede ver en el apartado 6 de planos en el plano 6.1, una vez ahí se abrirá un menú que nos dejará elegir el bobinado de alta tensión como parte a editar y a partir de ahí, se pondrá el valor de separación de los elementos

Mallado del bobinado de baja tensión

Para el mallado del bobinado de baja tensión se requiere un número de elementos cercano al puesto por defecto por el programa que en este caso es de 63.4mm y, por tanto, se escogerá como valor 56mm, ya que no se requiere tanta precisión en los cálculos como en el núcleo, pero aun así el hecho de tener menor área y de necesitar también unos cálculos más o menos exactos, hacen que se escoja este valor de separación entre elementos.

Se debe tener en cuenta que el bobinado tiene menor área a cubrir que el núcleo, por tanto, la distancia entre elementos puede ser menor sin aumentar en gran medida el número de elementos, ya que no se debe cubrir la misma cantidad de sección

Para elegirlo se debe ir al apartado desplegable de mallado y elegir “add size control” que desplegará otro menú en el que se deberá escoger el apartado “Part”, como se puede ver en el apartado 6 de planos en el plano 6.1, una vez ahí se abrirá un menú que nos dejará elegir el bobinado de baja tensión como parte a editar y a partir de ahí, se pondrá el valor de separación de los elementos

Mallado del medio que rodea al transformador

El mallado del medio circundante se crea de manera automática al generar el mallado inicialmente, éste se puede cambiar y ajustar a lo que se requiera en cada estudio, pero en nuestro caso se dejará con los valores de configuración por defecto.

Variar estos valores sería de gran utilidad en caso de que se conociera de antemano la situación o posición en que va a trabajar nuestro transformador a estudiar, ya que se podrían determinar unas condiciones del medio circundante para variables específicas como la temperatura, la humedad o la presión que pudieran tener un gran impacto en los resultados finales o en el comportamiento del transformador una vez estuviera

funcionando, que invalidaría los cálculos realizados previamente ya que se habrían hecho sin tener en cuenta unos parámetros fundamentales

Calidad del mallado

Para analizar la calidad del mallado se debe comprender como sería un mallado perfecto para así poder compararlo.

La calidad de la malla desempeña un papel fundamental en la precisión de los resultados, por ello es un parámetro muy importante a tener en cuenta.

Para que un mallado sea lo mejor posible, los elementos finitos en que se dividen las partes deberían ser tetraedros regulares uniformes y con la misma longitud de aristas. Debido a las aristas pequeñas, la geometría curva y otros parámetros, se producen pérdidas de la exactitud de los resultados debido a que el mallado empeora.

Una manera de calcular la calidad de la malla es, la relación de aspecto que se trata de la relación entre la arista más larga y la normal más corta colocadas desde un vértice a la cara opuesta normalizada, con respecto a un tetraedro perfecto

En total la malla tiene 18843 elementos de los cuales la mayoría son similares a un tetraedro regular, obteniendo una calidad del mallado de 62.68%, como se puede ver en el apartado 6 de planos en el plano 6.2.

Cabe destacar que en este caso no ha sido necesario, pero podría ser que el programa diera un fallo por nodos duplicados al tener mal estructurada la malla, en ese caso sería necesario eliminarlos, ya que significaría que hay unos elementos que están superpuestos y por tanto dan error a la hora de la realización del cálculo por parte del ordenador.

El mallado definitivo de cada una de las partes se puede ver en el apartado 6 de planos en el plano 6.3.

Con esto ya estaría finalizada la parte de edición de los distintos parámetros del transformador y se podría proceder ya a la obtención de resultados.

7.3 SIMULACIÓN Y OBTENCIÓN DE RESULTADOS

7.3.1 Simulación del estudio

Una vez realizada la simulación no será posible realizar ninguna modificación en ninguno de los otros apartados ya comentados porque esto modificaría los resultados y por tanto se borraría la simulación.

Para poder simular el estudio se debe ir al apartado desplegable donde aparece el nombre del estudio y una vez ahí se elige la opción de “Run Active Case” que hará que se empiecen a realizar los cálculos, como se puede observar en el apartado 7 de planos en el plano 7.1.

JMAG como se puede ver en el plano 7.1 permite varias opciones a la hora de realizar la simulación, que dependiendo del tipo de estudio que se quiera realizar podría llegar a ser interesantes, aunque en este caso no hayan sido usados como por ejemplo la opción de “Run all cases” que en caso de tener más de un estudio activo permite simularlos todos a la vez, aunque para ello sería necesario un ordenador muy potente.

A continuación, aparecerá una pantalla en la que se podrá observar la evolución de las iteraciones del cálculo, así como una estimación del tiempo, la hora inicial y final del estudio para así poder comprobar el tiempo que ha tardado en terminar los cálculos ya que esto es un parámetro muy importante, sobre todo en estudios más complejos que puedan llevar días de computación y por tanto requieran mucho tiempo y dinero, como se puede observar en el apartado 7 de planos en el plano 7.2.

Tras esto, aparecerá una pantalla con posibles errores o avisos, como se puede observar en el apartado 7 de planos en el plano 7.3, que en el caso de estudio no aparece ninguno así que se puede empezar a visualizar los resultados obtenidos de las variables que se requieran

7.3.2 Obtención de resultados

Una vez haya sido simulado el estudio que se tiene activo y se verifica que el programa no notifica ningún error, se estaría en disposición de comprobar los resultados para ver si se corresponden al comportamiento previsible según los cálculos previos.

Al finalizar la simulación, en el menú desplegable de JMAG aparecen varios apartados más, todos ellos relacionados con los resultados como se puede observar en el apartado 8 de los planos en el plano 8.1

JMAG permite disponer de 3 tipos de resultados según su forma de mostrarlos como se puede observar en el apartado 8 de los planos en el plano 8.2, por una parte están los “Contour Plot” que consiste en un mapa de colores donde cada uno está asignado a un valor mostrado en la leyenda, también los “Vector Plot” que consiste en mostrar los resultados en forma de vectores, y por último los “Flux Line” que se basa en mostrar los caminos recorridos por algún parámetro electromagnético en forma de líneas.

Puede mostrar resultados de parámetros muy variados, en el caso de estudio solo nos fijamos en los electromagnéticos como las pérdidas, la corriente, la tensión y la magnetización, pero permite la obtención de muchos más como los térmicos.

Para este estudio también se han utilizado los resultados tipo “Graphs” como se puede observar en el apartado 8 de los planos en el plano 8.3, que no son gráficos, sino que son cuantitativos, es decir, solo muestran valores numéricos de ciertos parámetros que permite medir en los distintos elementos eléctricos del circuito diseñado previamente

En el caso de los “Contour Plot”, se puede editar el tipo de resultado que se quiera obtener. Cabe destacar algunos como, el sistema de referencia, el número de colores para mayor precisión, los elementos geométricos donde se quiere el resultado y el parámetro electromagnético a estudiar, como se puede observar en el apartado 8 de los planos en el plano 8.5.

En el caso de los resultados tipo “Flux Line” también se pueden editar parámetros como el plano sobre el que se quiere ver las líneas, los vectores, los elementos geométricos donde se quiere el resultado y el parámetro electromagnético a estudiar, como se puede observar en el apartado 8 de los planos en el plano 8.4

Cabe destacar que en los resultados tipo “Flux Line” todas las líneas deberían ser caminos cerrados, pero a veces por fallos de computación el programa muestra líneas aisladas, pero no se corresponden a ningún error de funcionamiento del transformador

La magnetización del núcleo se puede observar en el apartado 9 de los planos en el plano 9.1 y 9.2.

La densidad de flujo magnético se puede observar en el apartado 9 de los planos en el plano 9.3 y 9.4 donde se comprueba la uniformidad entre las 3 fases, así como un valor asumible con un máximo de 1.28T, teslas, para los transformadores del tipo del que se está estudiando. De la misma manera se puede comprobar la uniformidad de los puntos con menor densidad de flujo magnético y la coherencia de su ubicación ya que se encuentran en las esquinas que son los puntos más alejados de las bobinas. Además, en el plano 9.4 se puede ver como salvo algunos fallos de computación, todas las líneas son caminos cerrados

Los planos 9.5 y 9.6 se corresponden a la densidad de las pérdidas de Joule y de histéresis correspondientemente, en ellas se observa una distribución homogénea y uniforme entre las 3 fases, como se puede esperar al no haber desequilibrios espaciales ni temporales de fases, y además se puede ver como las pérdidas de Joule son menores que las pérdidas de histéresis.

En el plano 9.7 se puede observar la densidad de las pérdidas del hierro, en el que se ve un comportamiento similar al de las otras pérdidas y se puede comprobar en los valores numéricos, como dichas pérdidas son la suma de las pérdidas de Joule y las pérdidas de histéresis.

Por último, los resultados numéricos se han obtenido en forma de tabla donde se muestran algunos parámetros en función del elemento geométrico y de la naturaleza del resultado (valor de pico, valor instantáneo, valor medio). Para la correcta comprensión de estos resultados cabe recordar que las fases son U, V, W y que el lado de alta tensión, es decir, el primario se representa con un 1 y el secundario o de baja tensión con un 2. Estos resultados se pueden ver en el apartado 9 de los planos desde el plano 9.8 al 9.13.

En el plano 9.9 se puede comprobar la correspondencia de la corriente entre las fases del lado alta tensión y el del lado baja tensión, que es la relación de transformación que en este caso de estudio es 20

En el plano 9.10 cabe señalar que las resistencias no cuentan con potencia reactiva, solo con parte activa ya que son elementos con reactancia nula, además es importante destacar que los valores negativos de las potencias tienen que ver con el sentido de la

corriente que ha sido estipulado por la condición de FEM Coil que define un sentido como el positivo

El plano 9.11 muestra la tensión en un punto señalado manualmente en el circuito eléctrico que se corresponde con la tensión a la salida del transformador, es decir, en la carga y, por ello el punto se llama salida.

8 CONCLUSIONES

El transformador diseñado cumple con las especificaciones previstas en los cálculos previos.

Se ha podido comprobar el impacto de las separaciones que pueden existir entre los elementos que conforman el transformador a la hora de su magnetización ya que un pequeño cambio podía provocar la fluctuación de los resultados.

Por ejemplo, a la hora de realizar los cálculos un cambio en el grosor de un bobinado o de un espaciado entre bobinas o entre bobinas y núcleo, provocaba que a la hora de obtener los resultados con JMAG, se consiguieran valores muy poco esperables y poco útiles para el uso real de un transformador, por lo que se ha comprobado la gran importancia de los fluidos refrigerantes y los espaciados que puedan provocar flujos de dispersión y de la forma geométrica del núcleo y los bobinados del transformador.

Además, también se ha podido ver como el material del que está hecho el núcleo varía mucho los valores nominales a pesar de trabajar con aceros laminados de la misma empresa, esto es debido a que cada material tiene un comportamiento distinto ante la excitación dada por cambios en la resistividad u otros parámetros propios de cada material. Aun así, los materiales si son ferromagnéticos tienen una gran utilidad en su uso, dependiendo del objetivo que quieras conseguir, y al existir tanta variedad de aceros laminados permite una gran versatilidad ante la existencia de problemas, siempre teniendo en cuenta el ámbito económico.

También se ha comprobado la importancia de la carga conectada en los terminales del transformador ya que puede provocar variaciones de los valores finales y en caso de que ésta pudiera ser desequilibrada provocaría problemas en el funcionamiento esperable del transformador, en este caso como se trabaja con una carga única y equilibrada no existían ese tipo de problemas pero si se pudo comprobar, en diversas pruebas realizadas anteriormente como el ensayo en vacío, que el peso en los resultados de la carga conectada es muy grande.

Por último, cabe destacar que aparte de los aspectos que se han tratado en este proyecto, los aspectos térmicos, dieléctricos y mecánicos tienen una gran importancia en el comportamiento final del transformador y sus valores nominales. Aparte de estos,

otro parámetro que resulta definitivo a la hora del diseño de un transformador es el económico que disminuirá en gran parte las opciones debido a la viabilidad económica que se debe tener, además se debe tener en cuenta que este transformador no es de los más grandes que existen por lo que un transformador de gran potencia y grandes dimensiones como el que se puede encontrar a la salida de una central, puede suponer un importante desembolso para la empresa productora

ANEXOS

1 CÁLCULOS	60
1.1 CÁLCULOS DEL NÚCLEO.....	60
1.1.1 Cálculo de los voltios por vuelta	60
1.1.2 Cálculo del campo magnético máximo	60
1.1.3.....Cálculo de la sección transversal.....	60
1.1.4 Cálculo del lado de la sección transversal	60
1.1.5 Corrección del área transversal	60
1.1.6 Corrección de B_{MAX}	60
1.1.7 Diámetro del círculo circunscrito al núcleo	60
1.1.8 Cálculo del área de la ventana	61
1.1.9 Cálculo de la altura de la ventana	61
1.1.10 Número de vueltas del bobinado de baja tensión	61
1.1.11 Número de vueltas del bobinado de alta tensión	61
1.2 CÁLCULOS PARA EL CONDUCTOR DE BAJA TENSIÓN.....	61
1.2.1 Corriente por fase del bobinado de baja tensión.....	61
1.2.2 Área del conductor de baja tensión	61
1.2.3 Cálculo del diámetro del conductor de baja tensión.....	61
1.2.4 Corrección del área del conductor de baja tensión.....	61
1.3 CÁLCULOS PARA EL CONDUCTOR DE ALTA TENSIÓN.....	61
1.3.1 Corriente por fase del bobinado de alta tensión	61
1.3.2 Área del conductor de alta tensión	62
1.3.3 Cálculo del diámetro del conductor de alta tensión	62
1.3.4 Corrección del área del conductor de alta tensión	62
1.3.5 Cálculo de la superficie ocupada por material conductor en cada ventana	62
1.4 CÁLCULOS DEL BOBINADO DE BAJA TENSIÓN.....	62
1.4.1 Cálculo de las vueltas por capa	62
1.4.2 Cálculo de la altura del bobinado de baja tensión	62
1.4.3 Cálculo del lado interior del bobinado de baja tensión.....	62
1.4.4 Cálculo de la anchura del bobinado de baja tensión.....	62

1.4.5	Cálculo del lado exterior del bobinado de baja tensión	62
1.4.6	Cálculo del lado medio del bobinado de baja tensión	62
1.4.7	Cálculo del perímetro medio del bobinado de baja tensión	62
1.4.8	Cálculo de la resistencia del bobinado de baja tensión.....	63
1.4.9	Cálculo de la reactancia del bobinado de baja tensión	63
1.4.10	Cálculo de la inductancia del bobinado de baja tensión	63
1.5	CÁLCULOS DEL BOBINADO DE ALTA TENSIÓN	63
1.5.1	Cálculo de las vueltas por capa	63
1.5.2	Cálculo de la altura del bobinado de alta tensión.....	63
1.5.3	Cálculo del lado interior del bobinado de alta tensión	63
1.5.4	Cálculo de la anchura del bobinado de alta tensión	63
1.5.5	Cálculo del lado exterior del bobinado de alta tensión.....	63
1.5.6	Cálculo del lado medio del bobinado de alta tensión	63
1.5.7	Cálculo del perímetro medio del bobinado de alta tensión	63
1.5.8	Cálculo de la resistencia del bobinado de alta tensión	63
1.5.9	Cálculo de la reactancia del bobinado de alta tensión	64
1.5.10	Cálculo de la inductancia del bobinado de baja tensión	64
1.6	CÁLCULO DE LA RESISTENCIA DE CARGA.....	64
1.7	CÁLCULO DE LA RELACIÓN DE TRANSFORMACIÓN.....	64
2	TABLA PARA LA ELECCIÓN DE K_W	65
3	PROPIEDADES DEL MATERIAL DEL NÚCLEO	66
3.1	PROPIEDADES GENERALES	66
3.2	PROPIEDADES MAGNÉTICAS.....	67
3.3	PROPIEDADES ELÉCTRICAS	68
3.4	PÉRDIDAS A 60 Hz.....	69
4	CONDICIÓN DE FEM COIL.....	70
5	BIBLIOTECA DE CONDICIONES DE JMAG	71

En este apartado se mostrarán algunos anexos que se ha creído conveniente añadir para la mejor comprensión del TFG y que sirven de apoyo para la parte desarrollada en el apartado de la memoria.

1 CÁLCULOS

A continuación, se mostrarán las fórmulas que se han utilizado para el cálculo tradicional del transformador del estudio

1.1 Cálculos del núcleo

1.1.1 Cálculo de los voltios por vuelta

$$E_t = \frac{1}{40} * \sqrt{\frac{S}{\text{Número de fases}}} = \frac{1}{40} * \sqrt{\frac{800 * 10^3}{3}} = 12.91 \approx 13V$$

1.1.2 Cálculo del campo magnético máximo

$$B_{MAX} = \frac{1.4 + 1.7}{2} = 1.55 \frac{Wb}{mm^2}$$

1.1.3 Cálculo de la sección transversal

$$E_t = 4.44 * \phi_{MAX} * f = 4.44 * B_{MAX} * A_i * f$$

Por tanto, despejando:

$$A_i = \frac{E_t}{4.44 * B_{MAX} * f} = \frac{13}{4.44 * 1.55 * 10^{-6} * 60} = 31483.096 mm^2$$

1.1.4 Cálculo del lado de la sección transversal

$$A_i = l^2 \rightarrow l = \sqrt{A_i} = \sqrt{31483.096} = 177.44 mm \approx 180 mm$$

1.1.5 Corrección del área transversal

$$A_i = l^2 = 180^2 = 32400 mm^2$$

1.1.6 Corrección de B_{MAX}

$$B_{MAX} = \frac{E_t}{4.44 * A_i * f} = \frac{13}{4.44 * 32400 * 10^{-6} * 60} = 1.51 Wb/m^2$$

1.1.7 Diámetro del círculo circunscrito al núcleo

$$A_i = \frac{\pi * d^2}{4} \rightarrow d = \sqrt{\frac{4 * A_i}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 * 32400}{\pi}} = 203.11 mm$$

1.1.8 Cálculo del área de la ventana

$$A_w = \frac{S}{3.33 * A_i * k_w * \delta * B_{MAX} * f} = \frac{800 * 10^3}{3.33 * 32400 * 10^{-6} * 0.3118 * 2.5 * 1.51 * 60} = 105000 \text{ mm}^2$$

1.1.9 Cálculo de la altura de la ventana

$$h_w = \frac{A_w}{\text{ancho ventana}} = \frac{105000}{210} = 500 \text{ mm}$$

1.1.10 Número de vueltas del bobinado de baja tensión

$$N_{BT} = \frac{1000}{13} = 76.92 \approx 77 \text{ vueltas}$$

1.1.11 Número de vueltas del bobinado de alta tensión

$$N_{AT} = \frac{20000}{13} = 1538.46 \approx 1539 \text{ vueltas}$$

1.2 Cálculos para el conductor de baja tensión

1.2.1 Corriente por fase del bobinado de baja tensión

$$S = 3 * U_F * I_F \rightarrow I_F = \frac{S}{3 * U_F} = \frac{800 * 10^3}{3 * 1000} = 266. \hat{A}$$

1.2.2 Área del conductor de baja tensión

$$a_{BT} = \frac{I_F}{\delta} = \frac{266. \hat{A}}{2.5} = 106. \hat{\text{mm}}^2$$

1.2.3 Cálculo del diámetro del conductor de baja tensión

$$a_{BT} = \frac{\pi * d^2}{4} \rightarrow d_{BT} = \frac{4 * a_{BT}}{\pi} = \frac{4 * 106. \hat{\text{mm}}^2}{\pi} = 11.65 \approx 12 \text{ mm}$$

1.2.4 Corrección del área del conductor de baja tensión

$$1. \quad a_{BT} = \frac{\pi * d^2}{4} = \frac{\pi * 12^2}{4} = 113.1 \text{ mm}^2$$

1.3 Cálculos para el conductor de alta tensión

1.3.1 Corriente por fase del bobinado de alta tensión

$$2. \quad S = 3 * U_F * I_F \rightarrow I_F = \frac{S}{3 * U_F} = \frac{800 * 10^3}{3 * 20000} = 13. \hat{A}$$

1.3.2 Área del conductor de alta tensión

$$3. \quad a_{AT} = \frac{I_F}{\delta} = \frac{13.3}{2.5} = 5.3 \text{ mm}^2$$

1.3.3 Cálculo del diámetro del conductor de alta tensión

$$4. \quad a_{AT} = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \rightarrow d_{AT} = \frac{4 \cdot a_{AT}}{\pi} = \frac{4 \cdot 5.3}{\pi} = 2.61 \approx 3 \text{ mm}$$

1.3.4 Corrección del área del conductor de alta tensión

$$5. \quad a_{AT} = \frac{\pi \cdot d^2}{4} = \frac{\pi \cdot 3^2}{4} = 7.1 \text{ mm}^2$$

1.3.5 Cálculo de la superficie ocupada por material conductor en cada ventana

$$A_{COBRE} = 2 \cdot (a_{BT} \cdot N_{BT} + a_{AT} \cdot N_{AT}) = 2 \cdot (113.1 \cdot 77 + 7.1 \cdot 1539) = 39271.2 \text{ mm}^2$$

1.4 Cálculos del bobinado de baja tensión

1.4.1 Cálculo de las vueltas por capa

$$6. \quad \text{Vueltas por capa} = \frac{N_{BT}}{\text{capas}} = \frac{77}{2} = 38.5 \approx 39$$

1.4.2 Cálculo de la altura del bobinado de baja tensión

$$7. \quad h_{BT} = \text{Vueltas por capa} \cdot d_{BT} = 39 \cdot 12 = 468 \text{ mm}$$

1.4.3 Cálculo del lado interior del bobinado de baja tensión

$$8. \quad l_{INT} = 0.5 \cdot l = 0.5 \cdot 180 = 90 \text{ mm}$$

1.4.4 Cálculo de la anchura del bobinado de baja tensión

$$9. \quad \text{Anchura} = d_{BT} \cdot \text{capas} = 12 \cdot 2 = 24 \text{ mm}$$

1.4.5 Cálculo del lado exterior del bobinado de baja tensión

$$10. \quad l_{EXT} = l_{INT} + \text{anchura} = 90 + 24 = 114 \text{ mm}$$

1.4.6 Cálculo del lado medio del bobinado de baja tensión

$$11. \quad l_{MEDIO} = \frac{l_{INT} + l_{EXT}}{2} = \frac{114 + 90}{2} = 102 \text{ mm}$$

1.4.7 Cálculo del perímetro medio del bobinado de baja tensión

$$12. \quad \text{Perímetro} = 8 \cdot l_{MEDIO} = 8 \cdot 102 = 816 \text{ mm}$$

1.4.8 Cálculo de la resistencia del bobinado de baja tensión

$$13. R_{BT} = \frac{\rho_{75} * l_{MEDIO} * N_{BT}}{a_{BT}} = \frac{0.02097 * 816 * 77}{113.1 * 10^3} = 0.01155 \Omega$$

1.4.9 Cálculo de la reactancia del bobinado de baja tensión

$$14. X_{BT} = 5 * R_{BT} = 5 * 0.01155 = 0.05775 \Omega$$

1.4.10 Cálculo de la inductancia del bobinado de baja tensión

$$15. L_{BT} = \frac{X_{BT}}{\omega} = \frac{X_{BT}}{2 * \pi * f} = \frac{0.05775}{2 * \pi * 60} = 153.18 * 10^{-6} H$$

1.5 Cálculos del bobinado de alta tensión

1.5.1 Cálculo de las vueltas por capa

$$16. Vueltas\ por\ capa = \frac{1.05 * N_{AT}}{capas} = \frac{1616}{13} = 124.3 \approx 125$$

1.5.2 Cálculo de la altura del bobinado de alta tensión

$$17. h_{BT} = Vueltas\ por\ capa * d_{AT} = 125 * 3 = 375 mm$$

1.5.3 Cálculo del lado interior del bobinado de alta tensión

$$18. l_{INT} = l_{EXT, BT} = 114 mm$$

1.5.4 Cálculo de la anchura del bobinado de alta tensión

$$19. Anchura = d_{AT} * capas = 3 * 13 = 39 mm$$

1.5.5 Cálculo del lado exterior del bobinado de alta tensión

$$20. l_{EXT} = l_{INT} + anchura = 114 + 39 = 153 mm$$

1.5.6 Cálculo del lado medio del bobinado de alta tensión

$$21. l_{MEDIO} = \frac{l_{INT} + l_{EXT}}{2} = \frac{114 + 153}{2} = 133.5 mm$$

1.5.7 Cálculo del perímetro medio del bobinado de alta tensión

$$22. Perímetro = 8 * l_{MEDIO} = 8 * 133.5 = 1068 mm$$

1.5.8 Cálculo de la resistencia del bobinado de alta tensión

$$23. R_{AT} = \frac{\rho_{75} * l_{MEDIO} * N_{AT}}{a_{AT}} = \frac{0.02097 * 1068 * 1539}{7.1 * 10^3} = 4.813 \Omega$$

1.5.9 Cálculo de la reactancia del bobinado de alta tensión

$$24. X_{AT} = 5 * R_{AT} = 5 * 4.813 = 24.064\Omega$$

1.5.10 Cálculo de la inductancia del bobinado de baja tensión

$$25. L_{AT} = \frac{X_{AT}}{\omega} = \frac{X_{AT}}{2 * \pi * f} = \frac{4.813}{2 * \pi * 60} = 63.833 * 10^{-3} H$$

1.6 Cálculo de la resistencia de carga

$$26. R_{CARGA} = \frac{V_{BT}^2}{S * 10^3} = \frac{1000^2}{800 * 10^3} = 1.25\Omega$$

1.7 Cálculo de la relación de transformación

$$m = \frac{N_{AT}}{N_{BT}} = \frac{V_{AT}}{V_{BT}} = \frac{I_{BT}}{I_{AT}} = \sqrt{\frac{R_{AT}}{R_{BT}}} = \frac{1539}{77} = \frac{20000}{1000} = \frac{266.6}{13.3} = \sqrt{\frac{4.813}{0.01155}} = 20$$

2 TABLA PARA LA ELECCIÓN DE K_w

Table 6.5 Window space factor, k_w				
kVA	3 kV	10 kV	30 kV	100 kV
100	0.28	0.20	0.14	—
800	0.37	0.27	0.20	0.15
2000	0.40	0.31	0.23	0.16
10000	0.45	0.37	0.28	0.21

3 PROPIEDADES DEL MATERIAL DEL NÚCLEO

3.1 Propiedades generales

Material

OK Cancel Help...

Lamination

☒ Laminated

Magnetic Properties

Factor: %

Saturation: %

Electric Properties

Eddy Currents

▾

▾

Value: ohm m

Permittivity

▾

☐ Insulation

Direction

 Rectangular ▾

Parallel to Edge

Perpendicular to Face

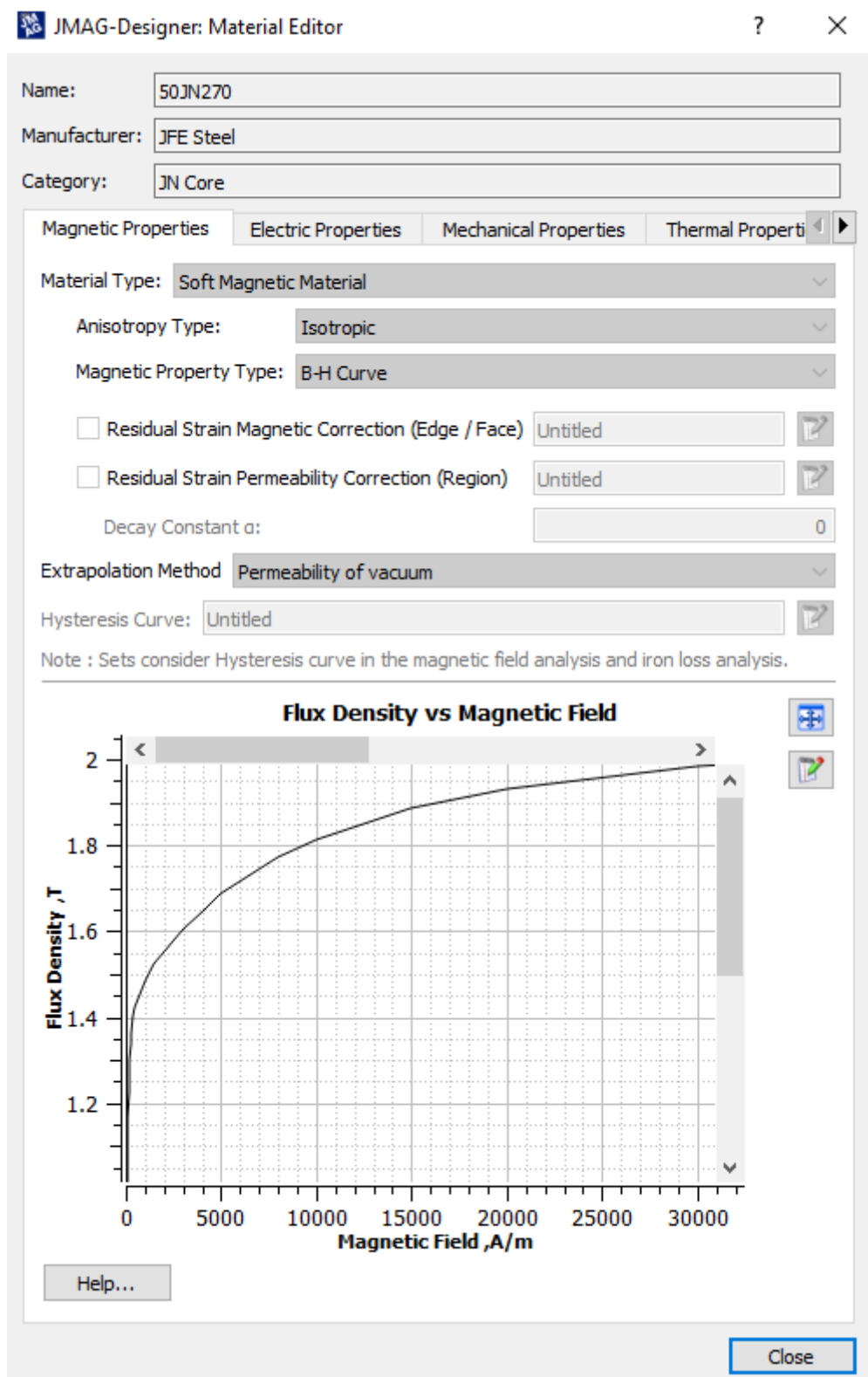
Reverse

 X-axis Direction

 Lamination Direction (Z)

 Point on Axis

3.2 Propiedades magnéticas



3.3 Propiedades eléctricas

JMAG-Designer: Material Editor

Name: 50JN270

Manufacturer: JFE Steel

Category: JN Core

Electric Properties

Conductivity

Conductivity Type: Electric Resistivity

☒ Constant

5.5e-7 ohm m

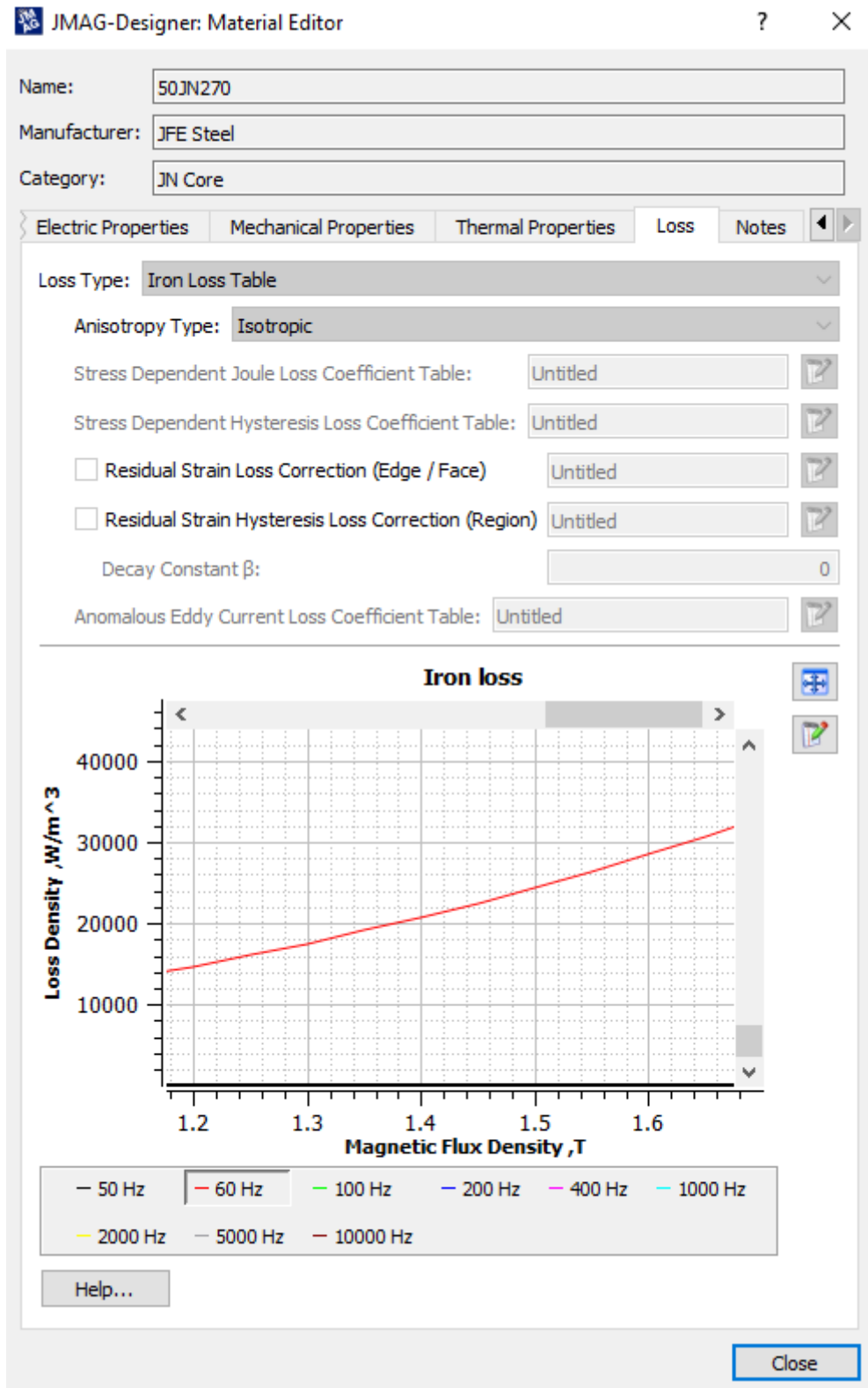
Permittivity

Permittivity Type: Constant

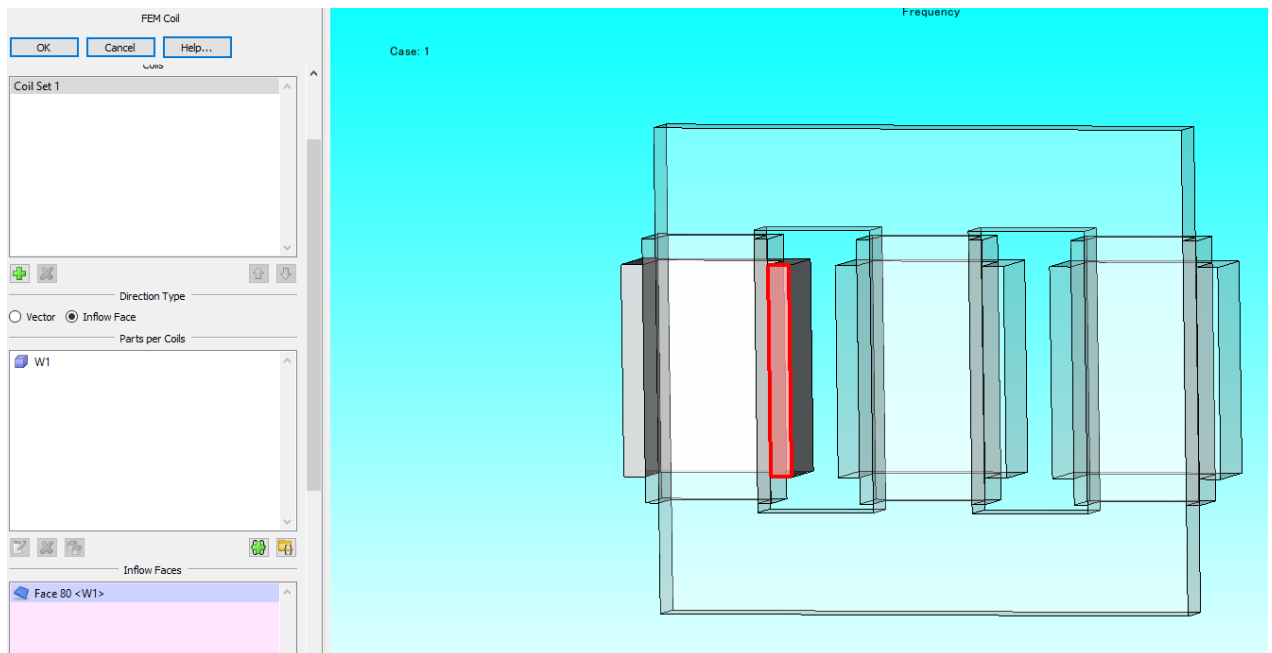
Real Part: 0

Imaginary Part: 0

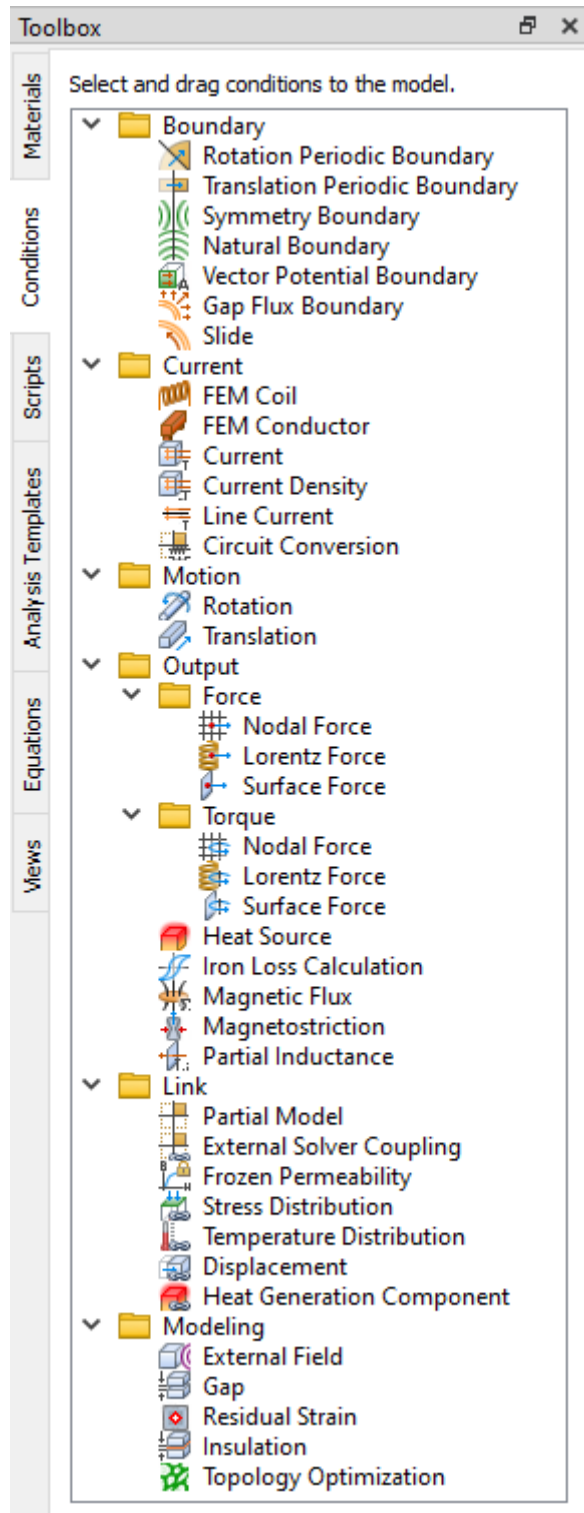
3.4 Pérdidas a 60 Hz



4 CONDICIÓN DE FEM COIL



5 BIBLIOTECA DE CONDICIONES DE JMAG



PLANOS

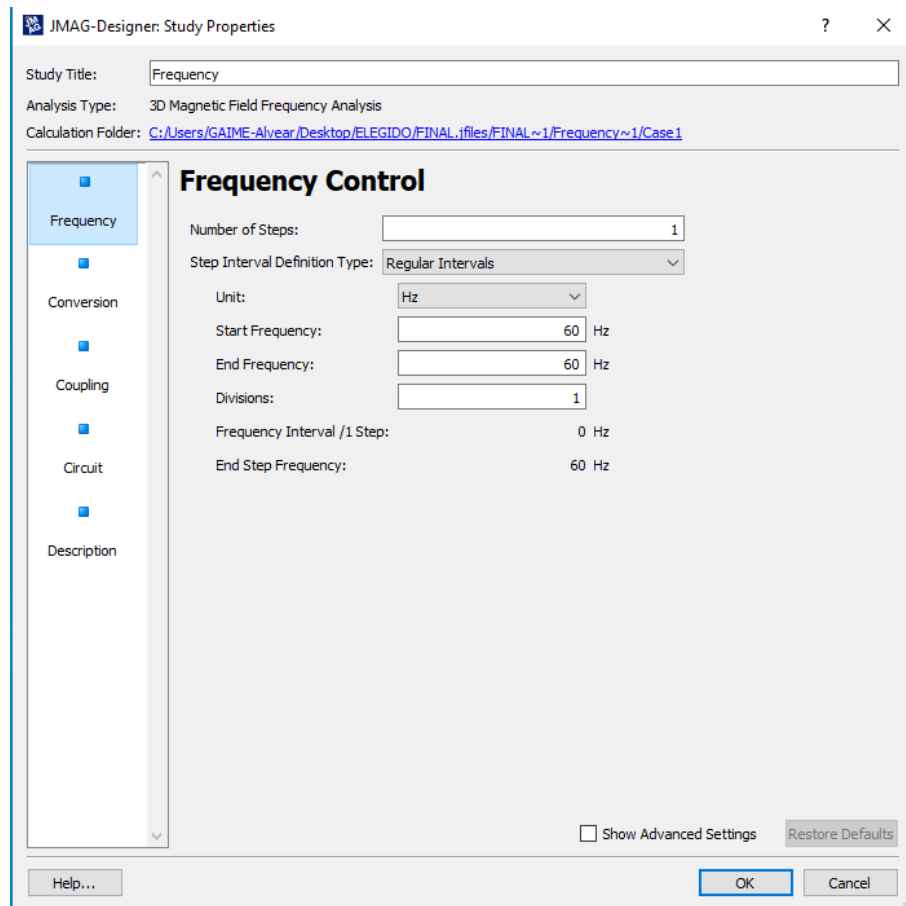
1 AJUSTES DE COMPUTACIÓN.....	75
1.1 FREQUENCY CONTROL	75
1.2 FULL MODEL CONVERSION.....	76
1.3 CIRCUIT SETTINGS	76
1.4 PARALLEL COMPUTING SETTINGS.....	77
1.5 IRON LOSS CONDITION	77
1.6 LINEAR SOLVER	78
1.7 NONLINEAR CALCULATION.....	79
2 PLANO DE SIMETRÍA DEL TRANSFORMADOR.....	80
3 ILUSTRACIONES DEL DISEÑO GEOMÉTRICO	81
3.1 CREACIÓN DE LAS VENTANAS	81
3.2 ALZADO ACOTADO DEL PLANO 2D DEL TRANSFORMADOR.....	82
3.3 PLANTA ACOTADA DEL BOBINADO DE BAJA TENSIÓN.....	83
3.4 PLANTA ACOTADA DEL BOBINADO DE ALTA TENSIÓN	84
4 ILUSTRACIÓN DE LA BIBLIOTECA DE MATERIALES DE JMAG	85
5 EDICIÓN DEL CIRCUITO ELÉCTRICO	86
5.1 FUENTE DE TENSIÓN	86
5.2 FEM COIL DE ALTA TENSIÓN.....	87
5.3 FEM COIL DE BAJA TENSIÓN	87
5.4 CIRCUITO ELÉCTRICO DEFINITIVO	88
6 EDICIÓN DEL MALLADO	89
6.1 INSTRUCCIÓN DE GENERACIÓN DE MALLADO PERSONALIZADO.....	89
6.2 CALIDAD DEL MALLADO	90
6.4 ALZADO DEL MALLADO FINAL	91
7 ILUSTRACIONES SOBRE LA SIMULACIÓN	92
7.1 INSTRUCCIÓN PARA EMPEZAR LA SIMULACIÓN	92
7.2 INFORMACIÓN EN TIEMPO REAL DE LA SIMULACIÓN	93
7.3 PANTALLA FINAL DE LA SIMULACIÓN	94
8 OBTENCIÓN DE RESULTADOS.....	95

8.1 MENÚ DE RESULTADOS	95
8.2 OPCIONES DE RESULTADOS.....	95
8.4 OPCIONES DE RESULTADOS TIPO “GRAPHS”	96
8.5 EDICIÓN DE LOS RESULTADOS TIPO “FLUX LINE”	97
8.6 EDICIÓN DE LOS RESULTADOS TIPO “CONTOUR PLOT”	98
9 RESULTADOS	99
9.1 GRÁFICO TIPO “CONTOUR PLOT” DE LA MAGNETIZACIÓN.....	99
9.2 GRÁFICO TIPO “FLUX LINE” DE LA MAGNETIZACIÓN	100
9.3 GRÁFICO TIPO “CONTOUR PLOT” DE LA DENSIDAD DE FLUJO MAGNÉTICO.....	101
9.4 GRÁFICO TIPO “FLUX LINE” DE LA DENSIDAD DE FLUJO MAGNÉTICO	102
9.5 GRÁFICO TIPO “CONTOUR PLOT” DE LA DENSIDAD DE PÉRDIDAS DE JOULE.....	103
9.6 GRÁFICO TIPO “CONTOUR PLOT” DE LA DENSIDAD DE PÉRDIDAS DE HISTÉRESIS	104
9.7 GRÁFICO TIPO “CONTOUR PLOT” DE LA DENSIDAD DE PÉRDIDAS DEL HIERRO ..	105
9.8 RESULTADOS DE LAS PÉRDIDAS DE JOULE EN CADA ELEMENTO.....	105
9.9 RESULTADOS DE LA CORRIENTE EN CADA ELEMENTO	106
9.10 RESULTADOS DE LA POTENCIA ELÉCTRICA EN CADA ELEMENTO.....	107
9.11 RESULTADOS DE LA TENSIÓN EN EL TERMINAL DE SALIDA	108
9.12 RESULTADOS DE LOS ENLACES DE FLUJO DE LAS BOBINAS	108
9.13 RESULTADOS DE LAS PÉRDIDAS DEL HIERRO DEL NÚCLEO	108
10 VISTAS DEL TRANSFORMADOR EN 3D	109
10.1 ALZADO	109
10.2 PLANTA.....	109
10.3 ISOMÉTRICA	110

1 AJUSTES DE COMPUTACIÓN

Ahora se mostrarán las pantallas que se deben editar al comenzar el estudio en JMAG para determinar ciertas variables.

1.1 Frequency control



1.2 Full model conversion

The image shows the 'JMAG-Designer: Study Properties' dialog box with the 'Full Model Conversion' tab selected. The 'Study Title' is 'Frequency', 'Analysis Type' is '3D Magnetic Field Frequency Analysis', and the 'Calculation Folder' is 'C:/Users/GAIME-Alvear/Desktop/ELEGIDO/FINAL.ifiles/FINAL~1/Frequency~1/Case1'. The 'Full Model Conversion' section has a checked 'Convert to Full Model Values' option. The 'Conversion Factor' is set to 1, and both 'Periodic Boundary' and 'Other than Periodic Boundary' are also set to 1. The left sidebar shows 'Frequency', 'Conversion', 'Coupling', 'Circuit', and 'Description' tabs, with 'Conversion' currently active.

JMAG-Designer: Study Properties

Study Title:

Analysis Type: 3D Magnetic Field Frequency Analysis

Calculation Folder: <C:/Users/GAIME-Alvear/Desktop/ELEGIDO/FINAL.ifiles/FINAL~1/Frequency~1/Case1>

Full Model Conversion

☒ Convert to Full Model Values

Conversion Factor:

Periodic Boundary:

Other than Periodic Boundary:

1.3 Circuit settings

The image shows the 'JMAG-Designer: Study Properties' dialog box with the 'Circuit Settings' tab selected. The 'Study Title' is 'Frequency', 'Analysis Type' is '3D Magnetic Field Frequency Analysis', and the 'Calculation Folder' is 'C:/Users/GAIME-Alvear/Desktop/ELEGIDO/FINAL.ifiles/FINAL~1/Frequency~1/Case1'. The 'Circuit Settings' section has 'Circuit Conversion' set to 'Convert (Synchronize with Periodic Boundary)'. The 'Periodic Boundary' is 1, and 'Other than Periodic Boundary' is 1. The 'Connection' is set to 'Series'. The 'Convert (Series/Parallel)' option is selected, with 'Automatically Update from Winding Setting' unchecked. The 'Series' value is 2, and the 'Parallel' value is 1. The 'Power Source Control' section has 'Tolerance' at 10%, 'Initial Current' at 1 A, and 'Max Count' at 1. The 'Circuit Analysis' section has 'Modified Nodal Analysis' selected and 'Closed Loop Current Analysis' unselected. The 'Show Advanced Settings' checkbox is unchecked, and the 'Restore Defaults' button is visible. The left sidebar shows 'Frequency', 'Conversion', 'Coupling', 'Circuit', and 'Description' tabs, with 'Circuit' currently active.

JMAG-Designer: Study Properties

Study Title:

Analysis Type: 3D Magnetic Field Frequency Analysis

Calculation Folder: <C:/Users/GAIME-Alvear/Desktop/ELEGIDO/FINAL.ifiles/FINAL~1/Frequency~1/Case1>

Circuit Settings

Circuit Conversion

☐ Do Not Convert

☐ Convert (Synchronize with Periodic Boundary)

Periodic Boundary:

Other than Periodic Boundary:

Connection:

☒ Series

☐ Parallel

☐ Parallel and Anti-Periodic

☒ Convert (Series/Parallel)

☐ Automatically Update from Winding Setting

Series:

Parallel:

Power Source Control

Tolerance: %

Initial Current: A

Max Count:

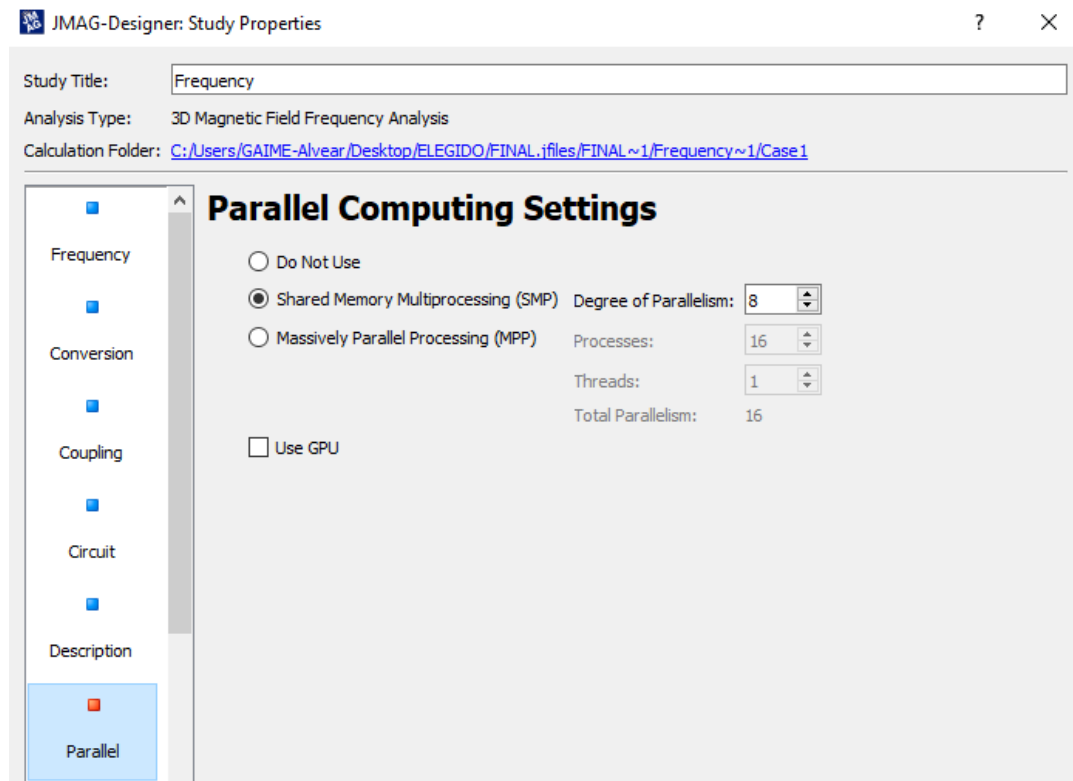
Circuit Analysis

☒ Modified Nodal Analysis

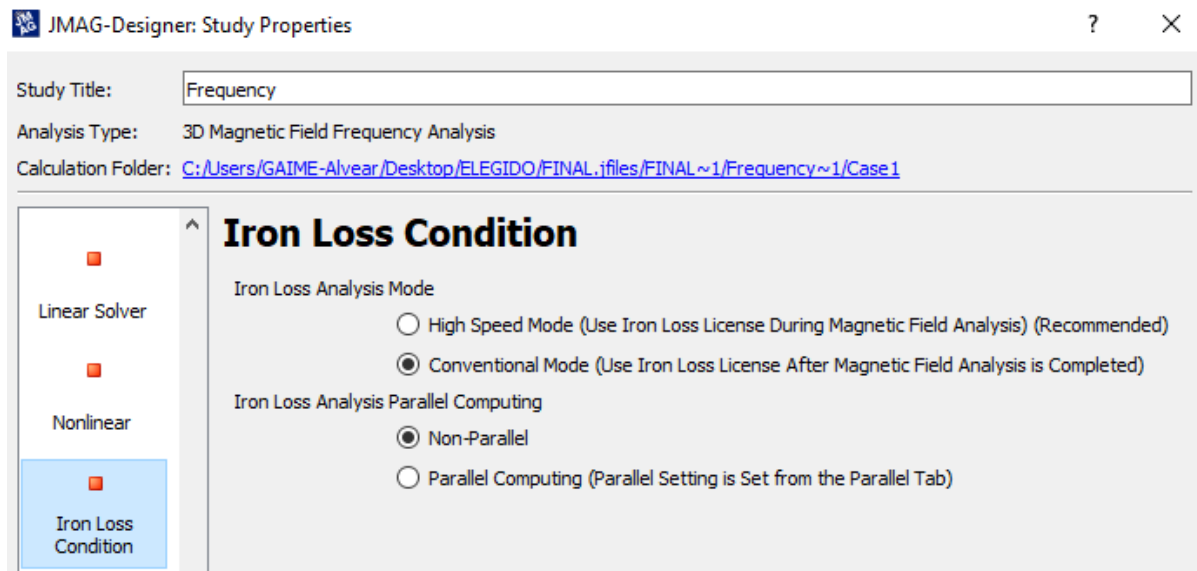
☐ Closed Loop Current Analysis

☐ Show Advanced Settings

1.4 Parallel computing settings



1.5 Iron loss condition



1.6 Linear solver

JMAG-Designer: Study Properties

Study Title: Frequency

Analysis Type: 3D Magnetic Field Frequency Analysis

Calculation Folder: <C:/Users/GAIME-Alvear/Desktop/ELEGIDO/FINAL.ifiles/FINAL~1/Frequency~1/Case1>

Linear Solver

Acceleration Coefficient: 1.05

☒ Set Automatically

ICCG Tolerance

☐ Scale Independently for Each Calculation

Convergence Tolerance: 0.001

☐ Scale Tolerance per Step, Adjust Automatically

Initial Value: 1e-6

Minimum Value: 1e-8

☒ Use Fixed Tolerance per Step

Convergence Tolerance: 1e-8

Divergence Tolerance: 1e+20

Maximum Iterations: 5000

☒ Use Optimum Value When not Converged

Calculation Method: A Method

☒ Show Advanced Settings

Restore Defaults

Help... OK Cancel

1.7 Nonlinear calculation

JMAG-Designer: Study Properties

Study Title: Frequency

Analysis Type: 3D Magnetic Field Frequency Analysis

Calculation Folder: <C:/Users/GAIME-Alvear/Desktop/ELEGIDO/FINAL.ifiles/FINAL~1/Frequency~1/Case1>

Nonlinear Calculation

Maximum Nonlinear Iterations: 15

Convergence Tolerance: 0.001

Type: ☒ Newton-Raphson ☐ Successive

Relaxation Factor: Relaxation Factor Auto

Global Convergence Criteria: Variation of Solution

Local Convergence Criteria

☐ Maximum Change in Magnetic Flux Density: 0.01 T

☐ Maximum Change in Voltage: 0.01 V

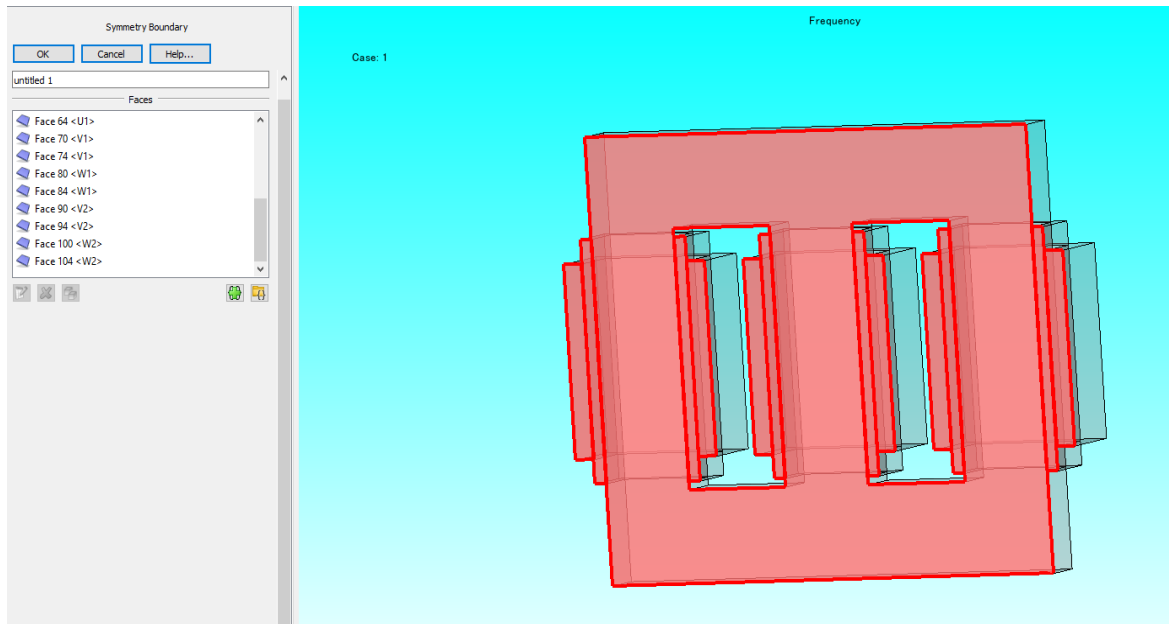
☐ Maximum Change in Current: 0.01 A

☐ Use Strict Criteria for Convergence Tolerance

☐ Use Correct BH Curve for Frequency Response Analysis

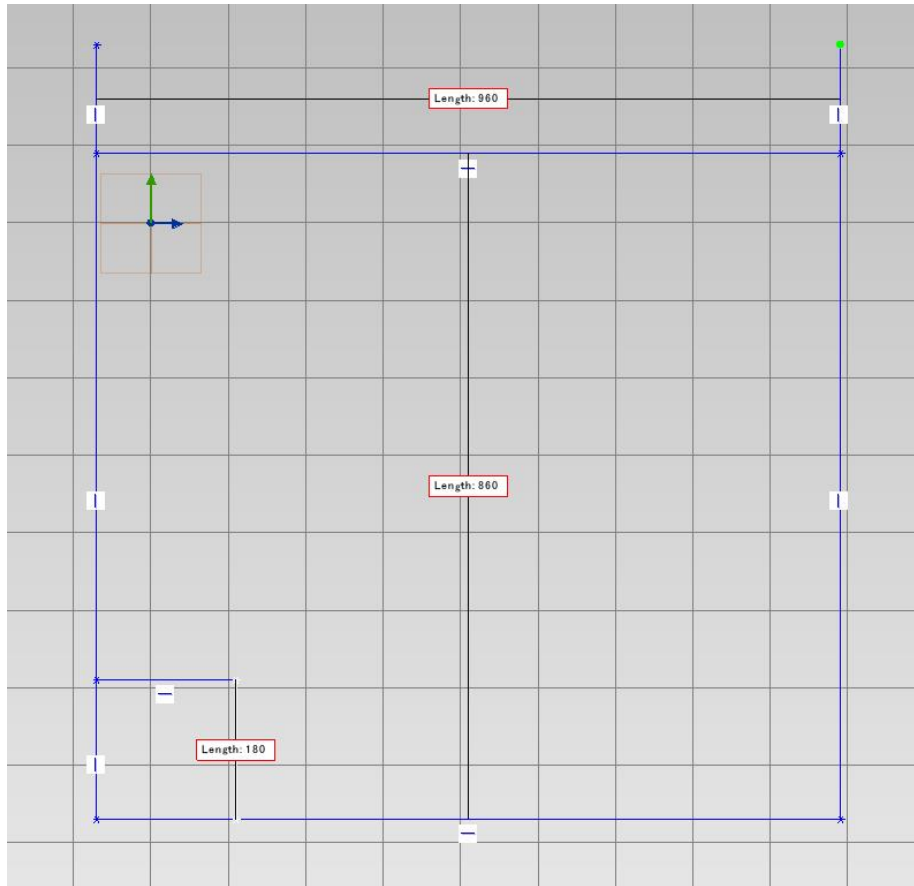
☒ Show Advanced Settings [Restore Defaults](#)

2 PLANO DE SIMETRÍA DEL TRANSFORMADOR

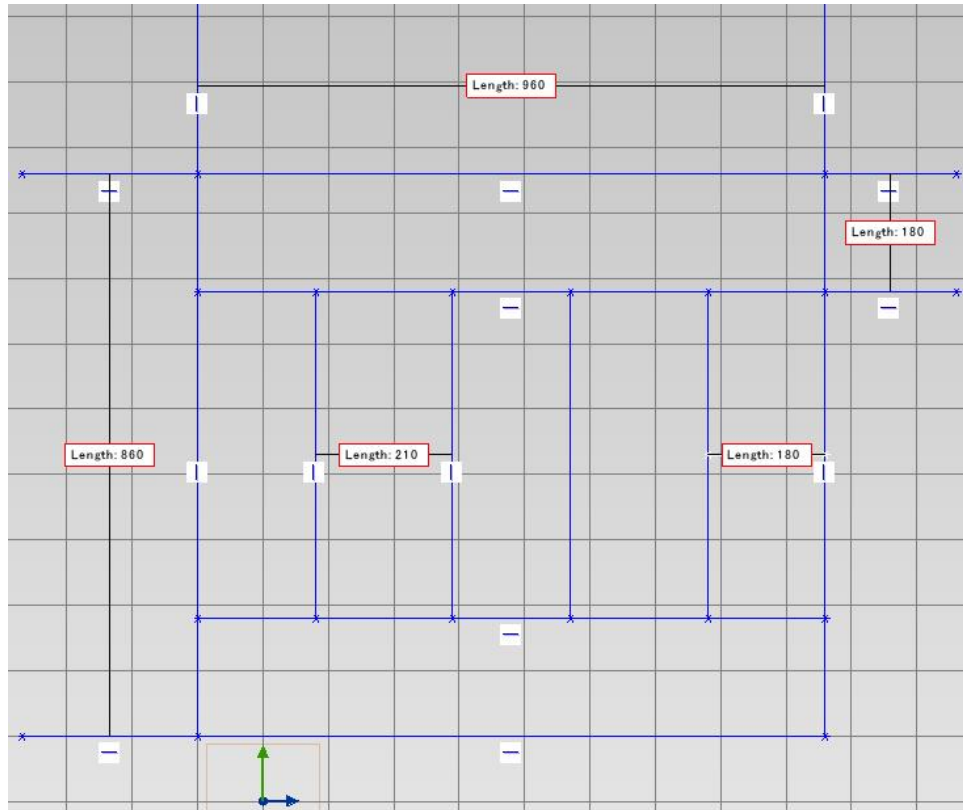


3 ILUSTRACIONES DEL DISEÑO GEOMÉTRICO

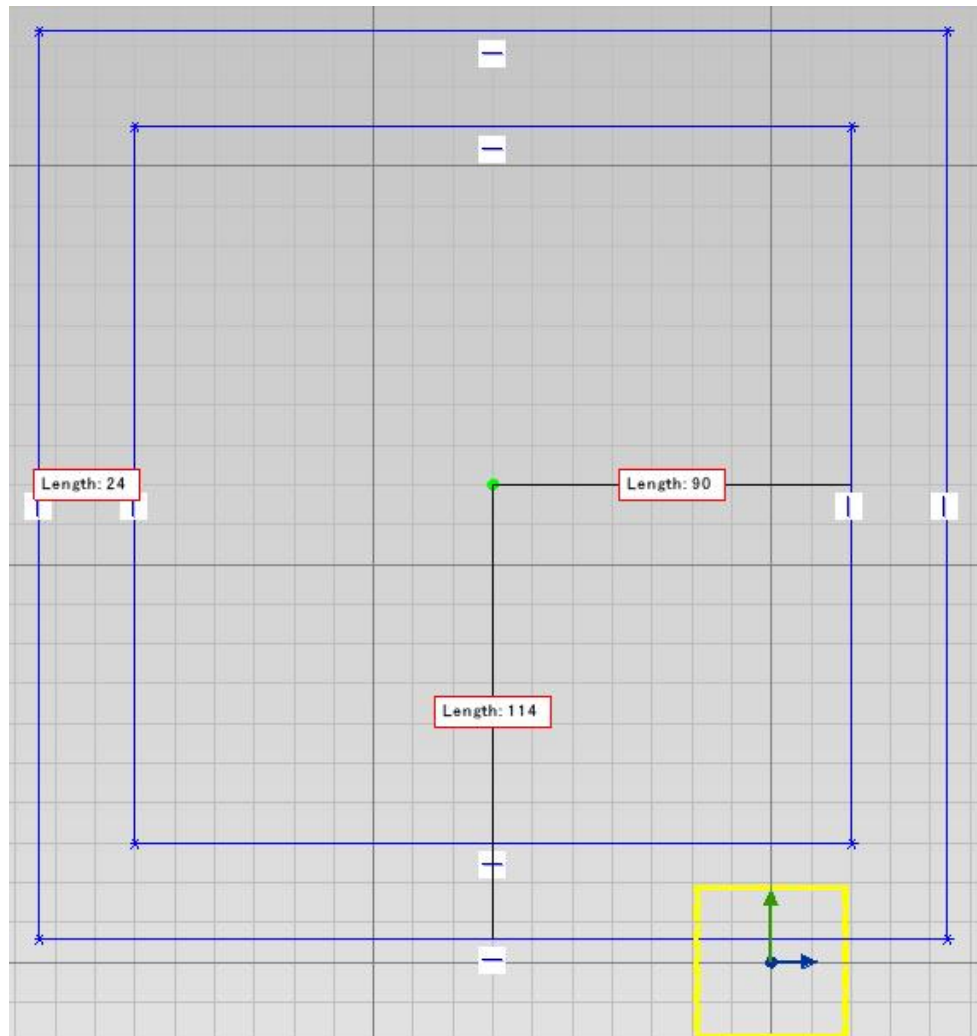
3.1 Creación de las ventanas



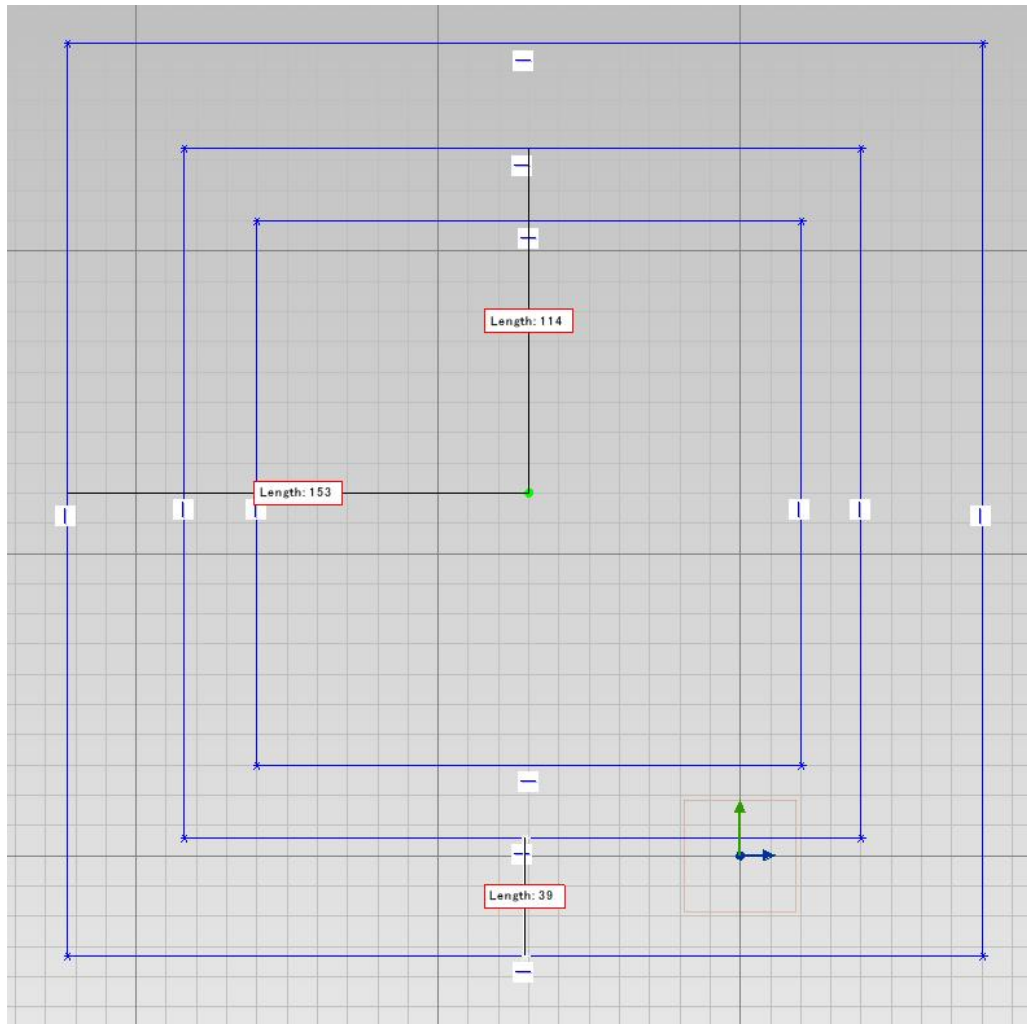
3.2 Alzado acotado del plano 2D del transformador



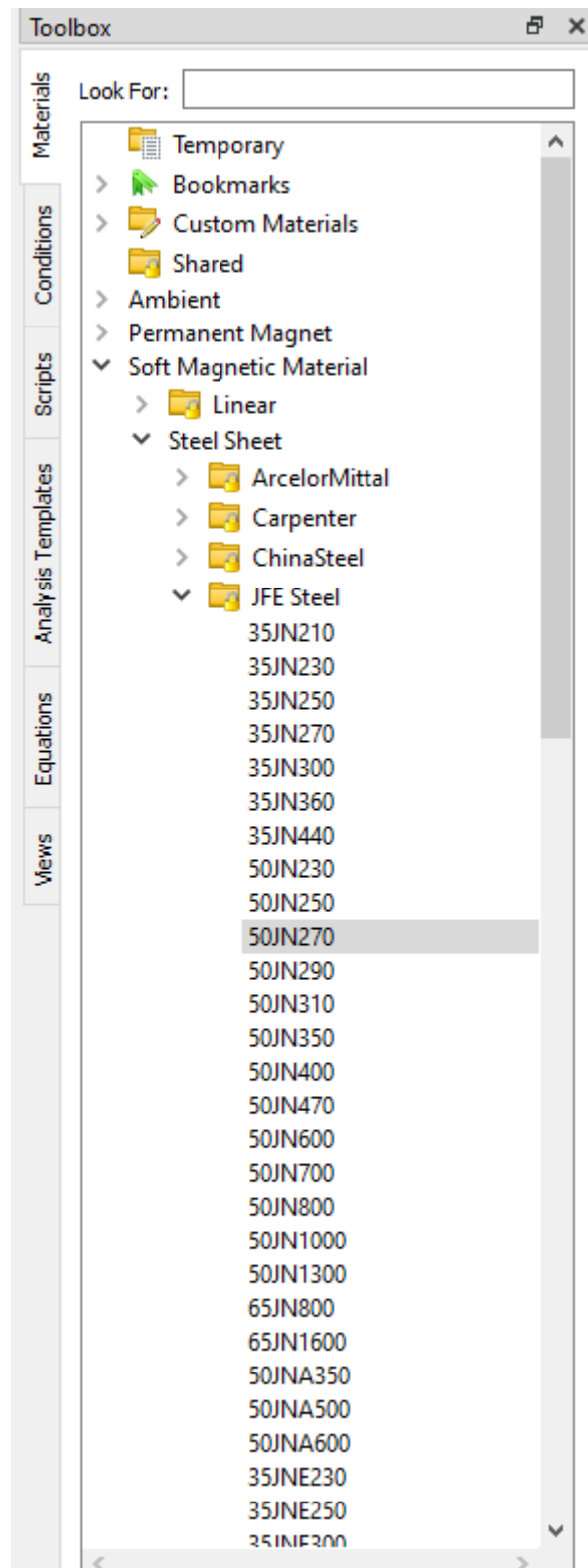
3.3 Planta acotada del bobinado de baja tensión



3.4 Planta acotada del bobinado de alta tensión



4 ILUSTRACIÓN DE LA BIBLIOTECA DE MATERIALES DE JMAG



5 EDICIÓN DEL CIRCUITO ELÉCTRICO

5.1 Fuente de tensión

Circuit Manager

Three-phase Electric Potential Source

Help...

Title

VS1

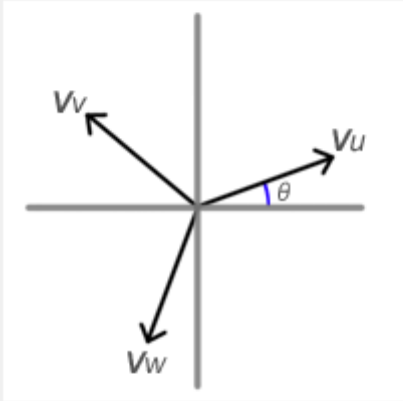
X-axis Type

Frequency

Specify Type

Phase Voltage

Commutating Sequence



☐ U-W-V

$$V_u = V_a \sin(2\pi t/T + \theta n/180)$$

$$V_v = V_a \sin(2\pi t/T + (\theta - 120)n/180)$$

$$V_w = V_a \sin(2\pi t/T + (\theta + 120)n/180)$$

☒ U-V-W

$$V_u = V_a \sin(2\pi t/T + \theta n/180)$$

$$V_v = V_a \sin(2\pi t/T + (\theta + 120)n/180)$$

$$V_w = V_a \sin(2\pi t/T + (\theta - 120)n/180)$$

$\ast V_r = V_a / \sqrt{2}$

Voltage, $V_a(V_r)$

Amplitude(V_a) 16330 V

U-Phase, θ

0 deg

5.2 FEM Coil de alta tensión

Circuit Manager

FEM Coil

Help...

Title

U1

X-axis Type

Constant

Turns

1539 turn

Constant

4.813 ohm

Leakage Inductance

0.063833 H

5.3 FEM Coil de baja tensión

FEM Coil

Help...

Title

U2

X-axis Type

Constant

Turns

77 turn

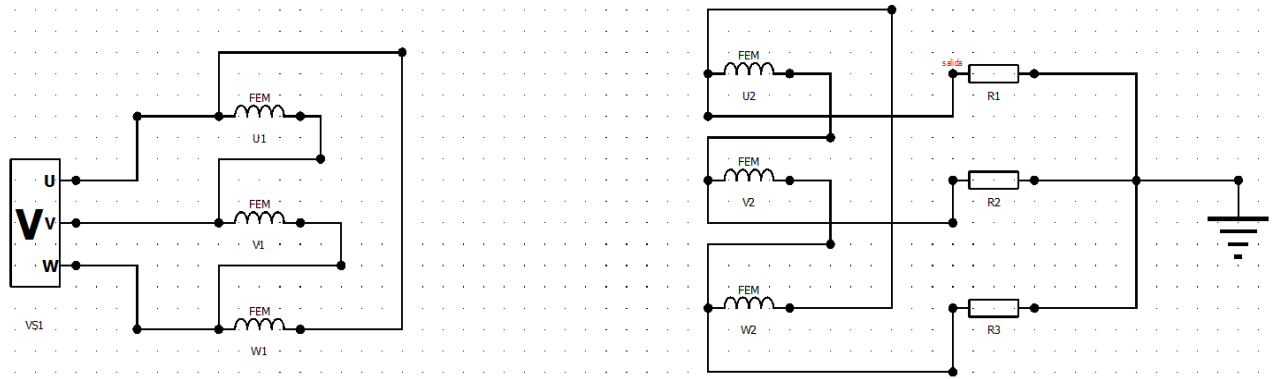
Constant

0.01155 ohm

Leakage Inductance

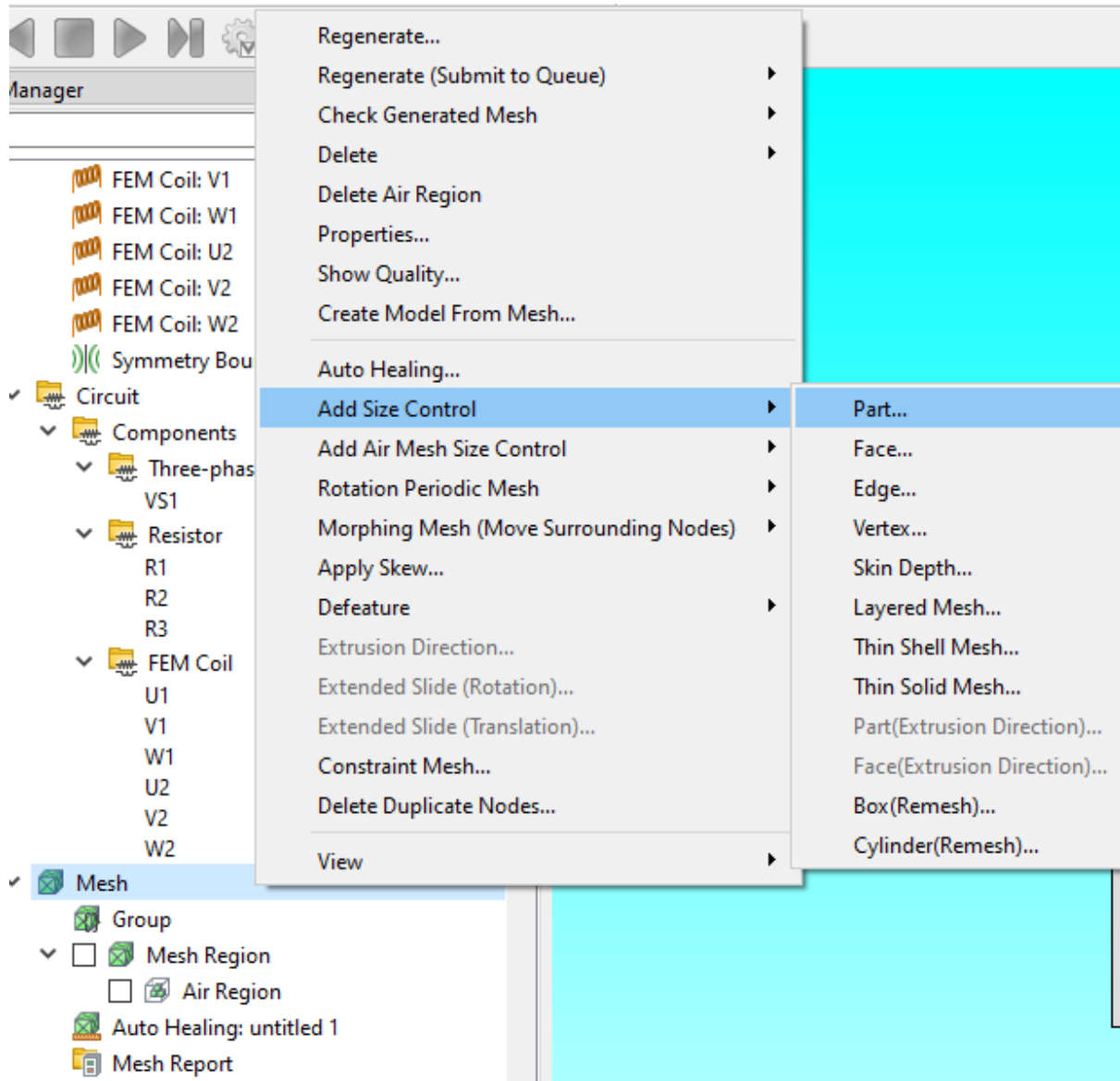
0.00015318 H

5.4 Circuito eléctrico definitivo



6 EDICIÓN DEL MALLADO

6.1 Instrucción de generación de mallado personalizado



6.2 Calidad del mallado

JMAG-Designer: Mesh Quality ? X

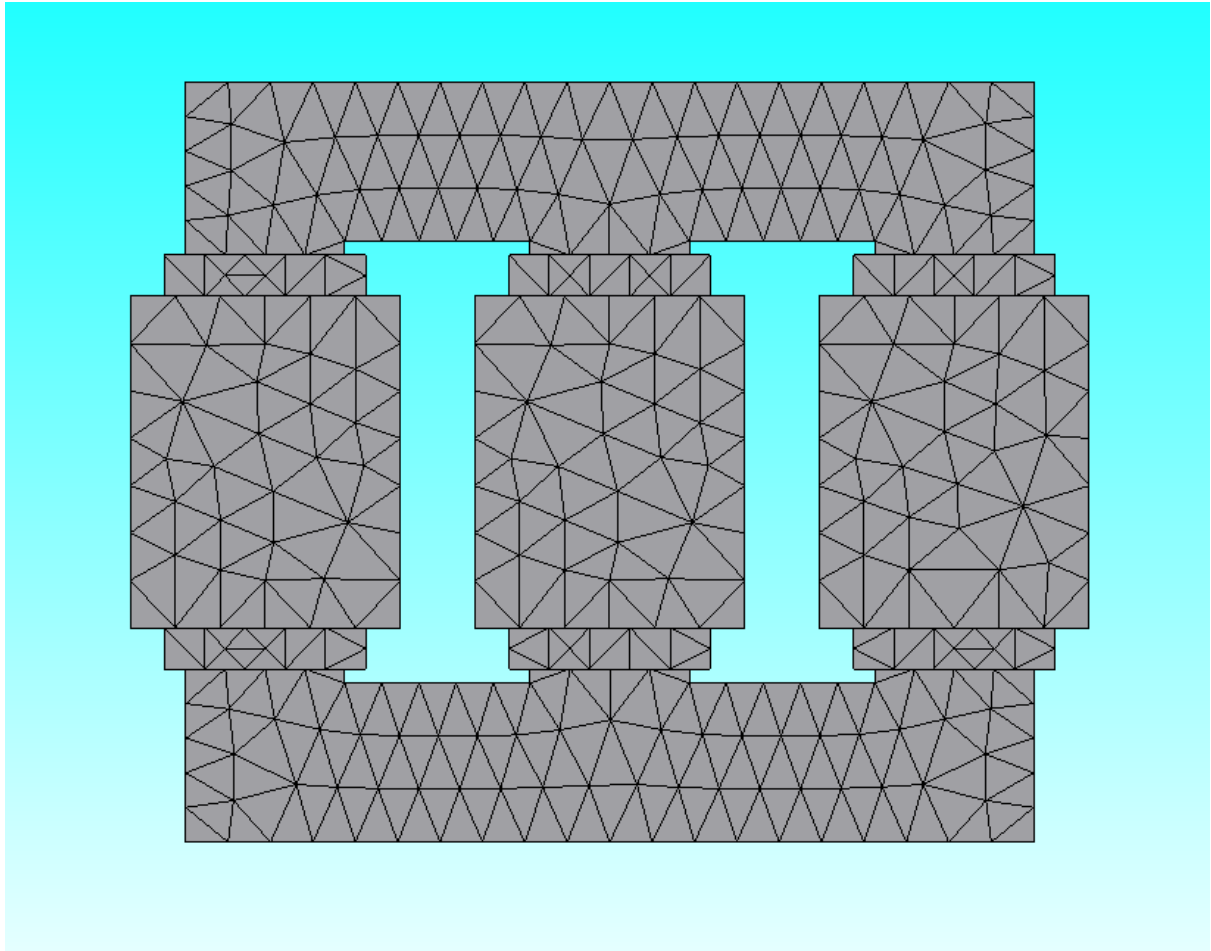
This dialog box shows the element quality for the mesh.

	Quality	Element Count	Display	
↑	Flat 0.0 - 0.1:	0	☐	Elements: 18843
	0.1 - 0.2:	5	☐	Nodes: 3951
	0.2 - 0.3:	137	☐	
	0.3 - 0.4:	805	☐	Minimum: 0.150442
	0.4 - 0.5:	2429	☐	Maximum: 0.969944
	0.5 - 0.6:	4392	☐	Average: 0.626812
	0.6 - 0.7:	5221	☐	Joint: 0.594506
	0.7 - 0.8:	3926	☐	
↓	0.8 - 0.9:	1751	☐	
	Regular 0.9 - 1.0:	177	☐	

Element highlight style:

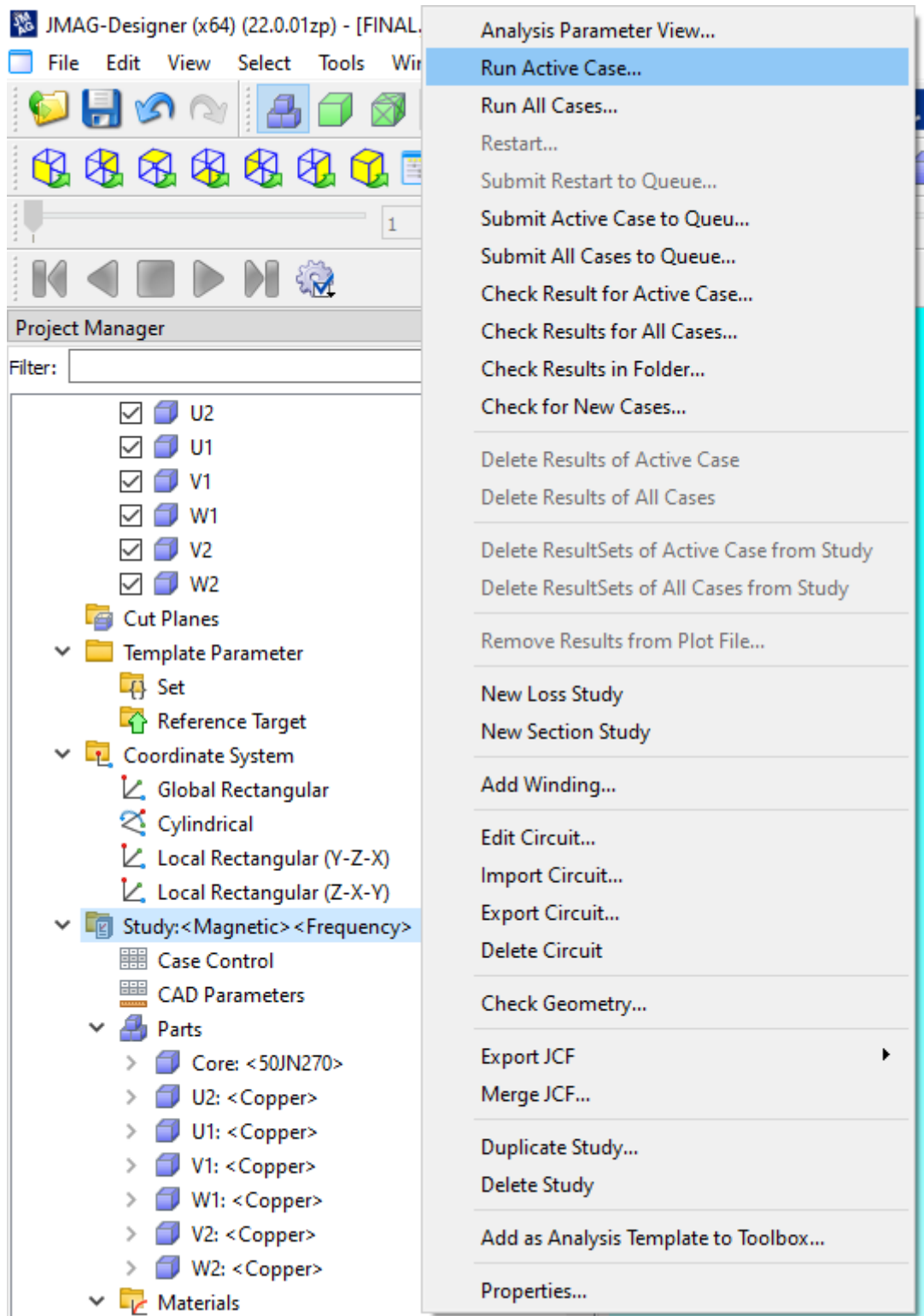
☐ Marker at element center
☒ Element outline

6.4 Alzado del mallado final

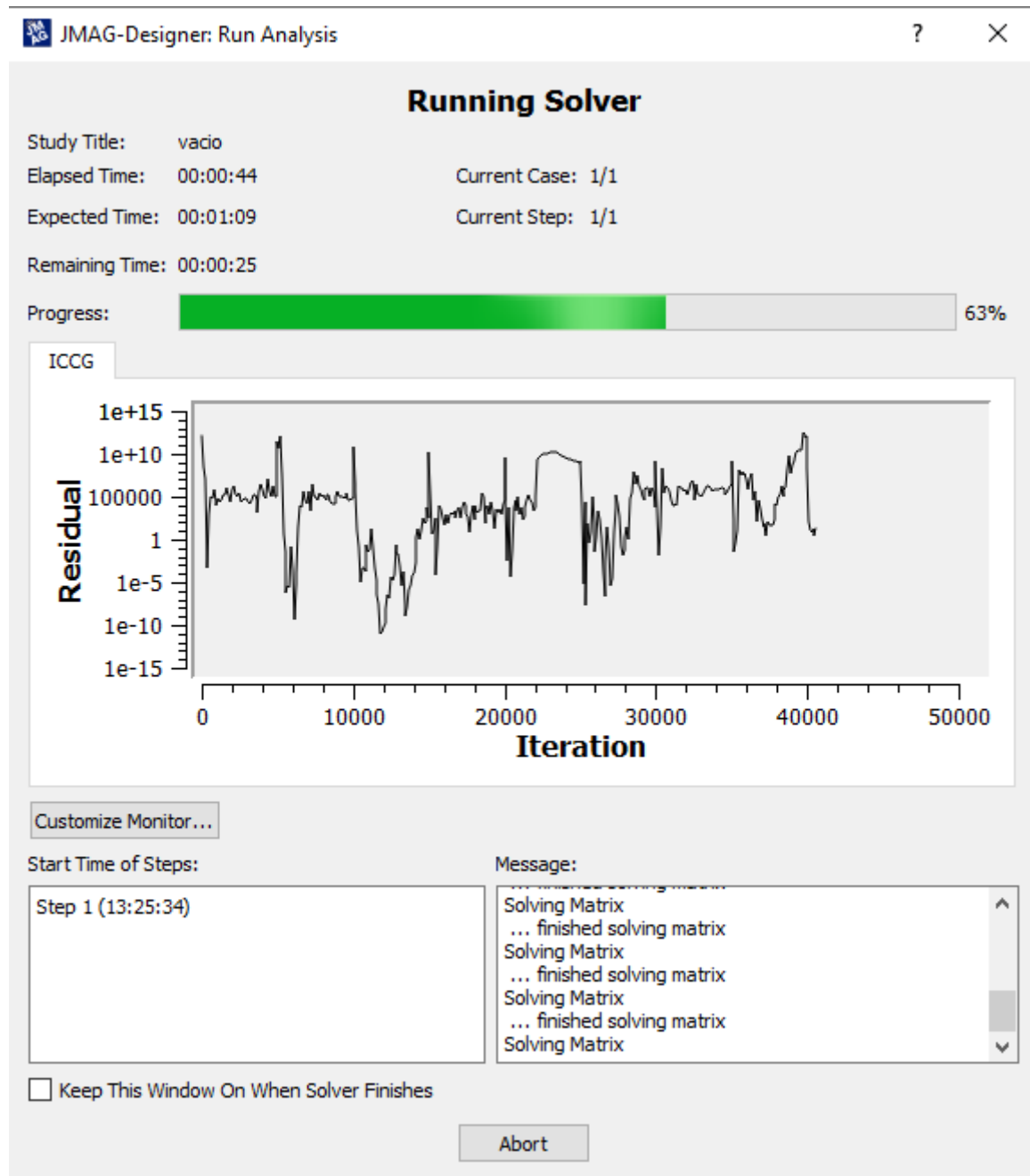


7 ILUSTRACIONES SOBRE LA SIMULACIÓN

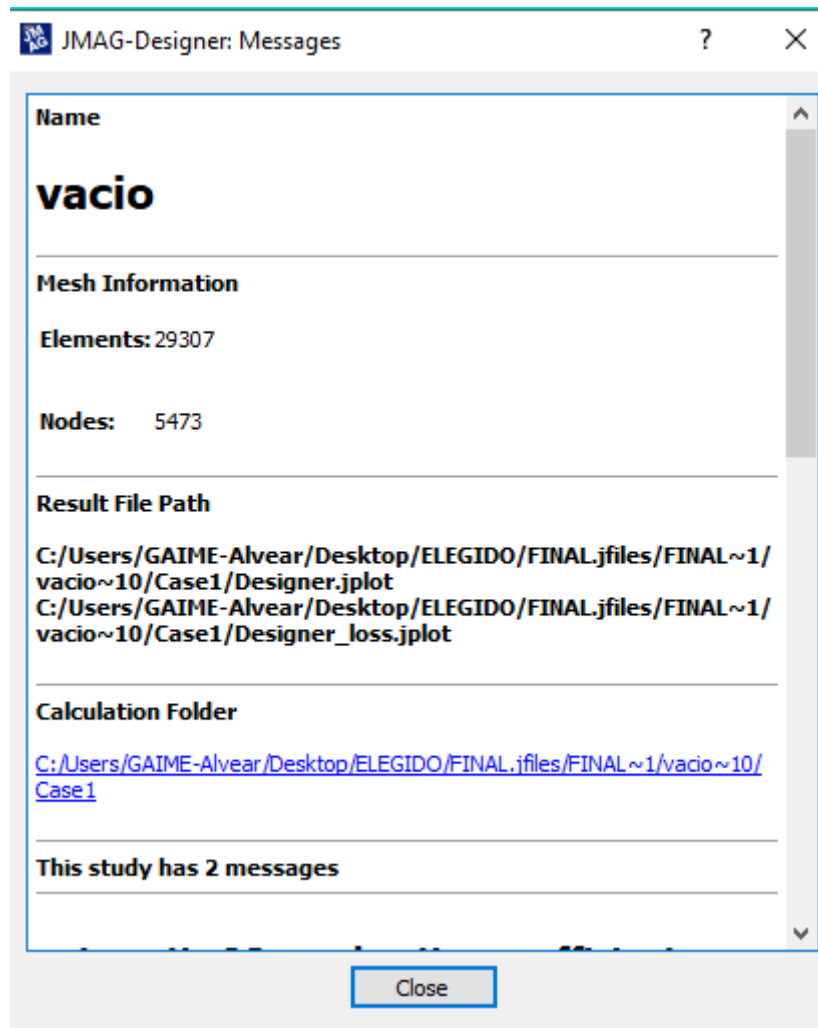
7.1 Instrucción para empezar la simulación



7.2 Información en tiempo real de la simulación

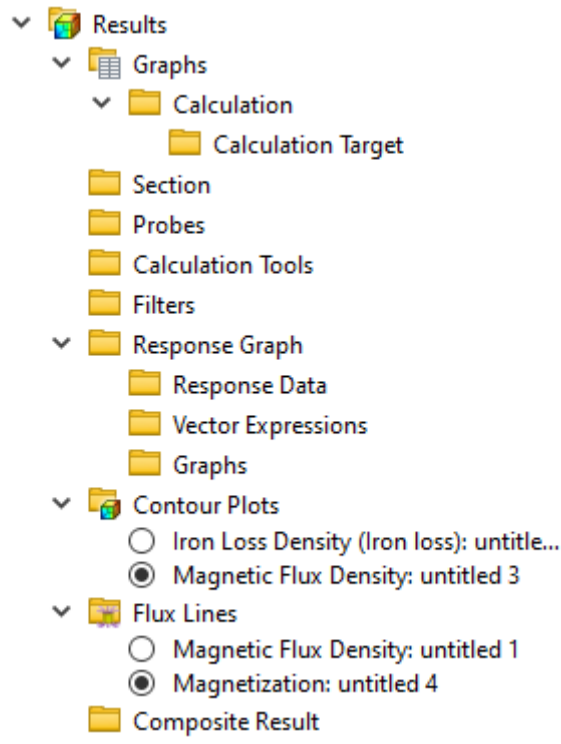


7.3 Pantalla final de la simulación

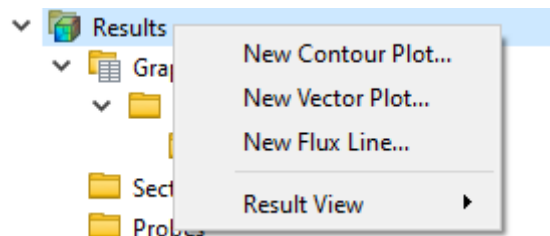


8 OBTENCIÓN DE RESULTADOS

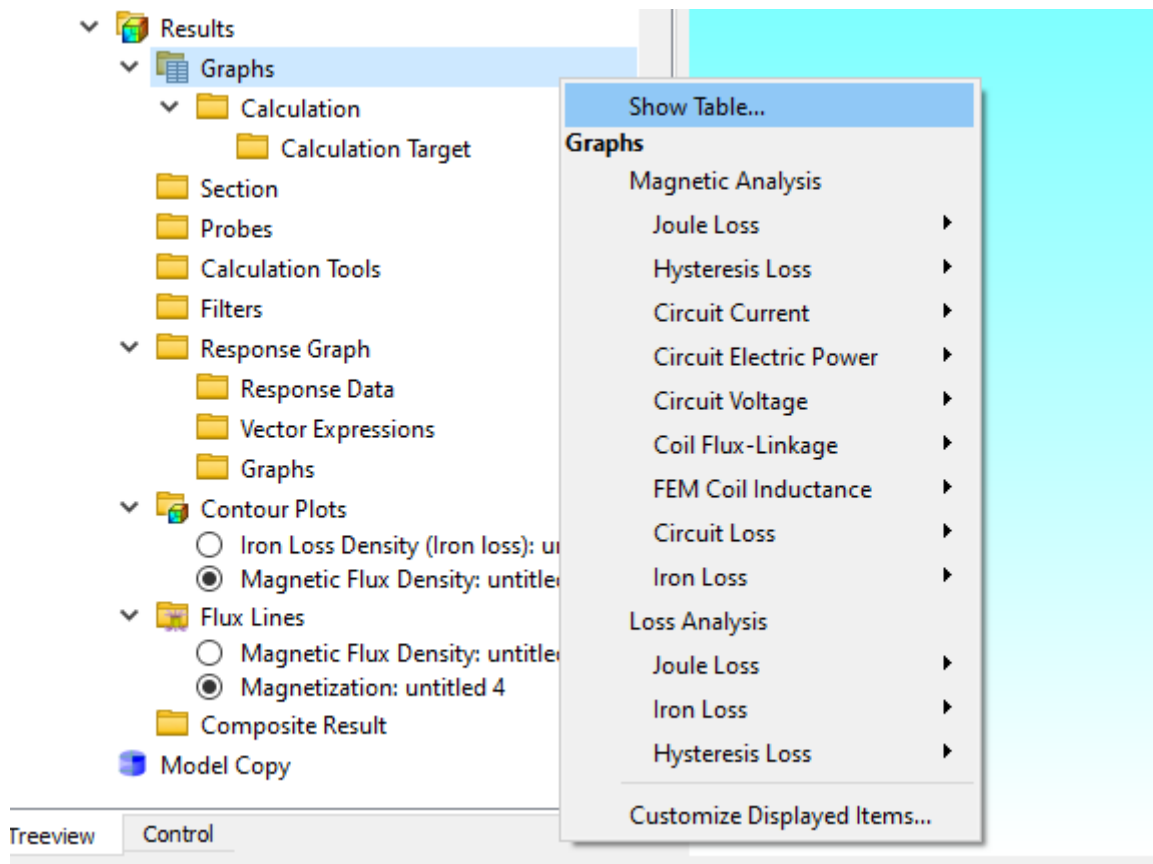
8.1 Menú de resultados



8.2 Opciones de resultados



8.4 Opciones de resultados tipo “Graphs”



8.5 Edición de los resultados tipo “Flux Line”

Flux Line

OK Cancel Help...

Apply

Title

untitled 5

Result Type

Magnetic Flux Density

Rendering Start Type

Plane

Rendering Start Plane

XY XZ YZ

Face

From Edge

Normal Vector

X: 0

Y: 0

Z: 1

Point on Plane

Unit: mm

X: 0

Y: 0

Z: 0

☐ Use Finite Plane

Width: 0 mm Height: 0 mm

☒ Seed Lines in All Parts

Parts

Line

8.6 Edición de los resultados tipo “Contour Plot”

Contour Plot

OK Cancel Help...

Apply

Title

untitled 5

Result Type

Magnetic Flux Density

Coordinate System: Global Rectangular

Component: RMS

Contours

☒ Shaded ☐ Isolines ☐ Element

☐ Subdivide Quadrilateral Faces

Scaling

Scaling: ☒ Linear ☐ Logarithmic

Range: ☒ Autoscale ☐ Fixed Range

Minimum: 0

Maximum: 1

☒ Determine from Visible Parts

Scale Bar Digits Notation

☒ Auto ☐ Scientific ☐ Decimal

Number of digits after decimal: 4

Colors

Gradient: Purple-Red

☒ Smooth ☐ Color bands

Levels: 21

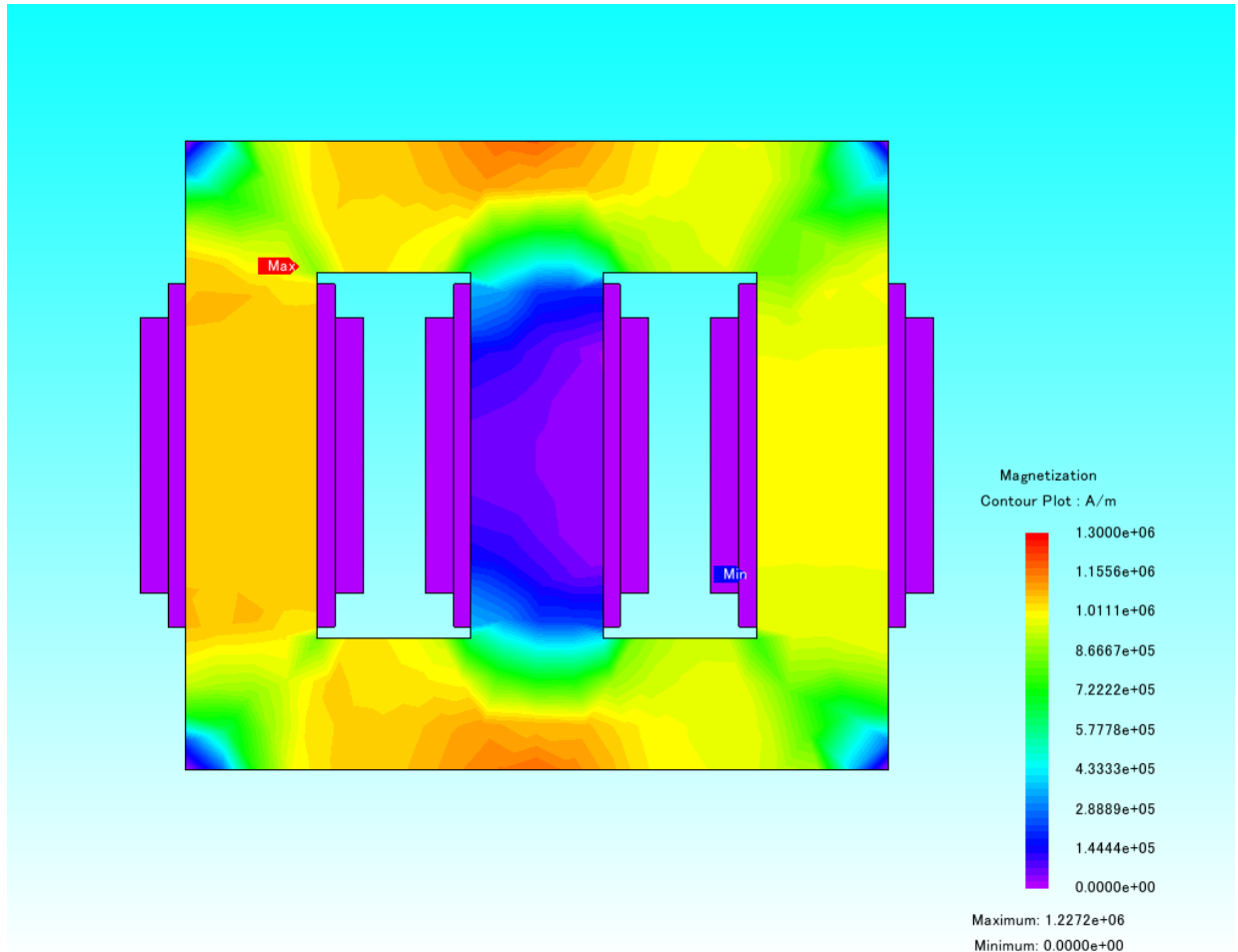
Labels: 21

Parts

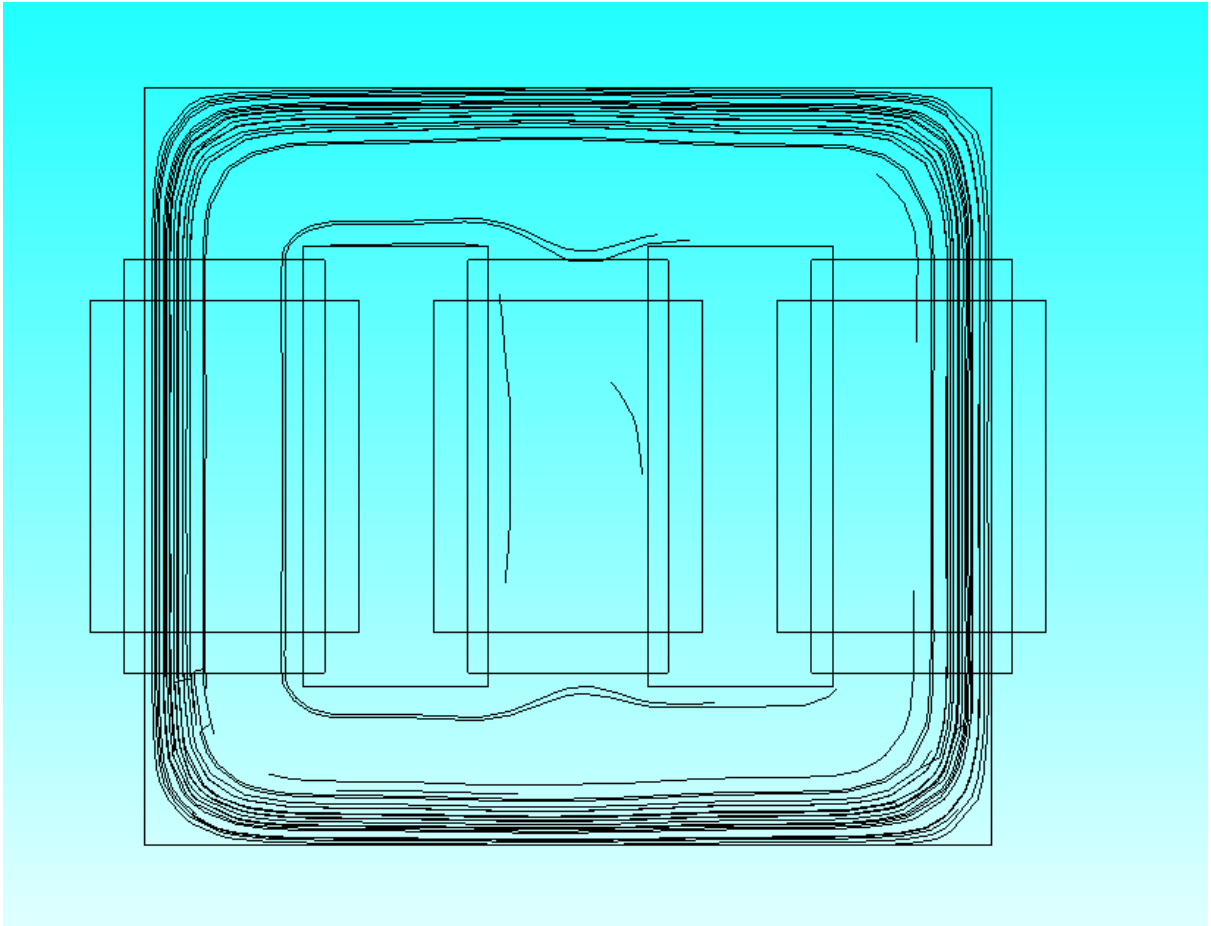
☒ Display on All Parts

9 RESULTADOS

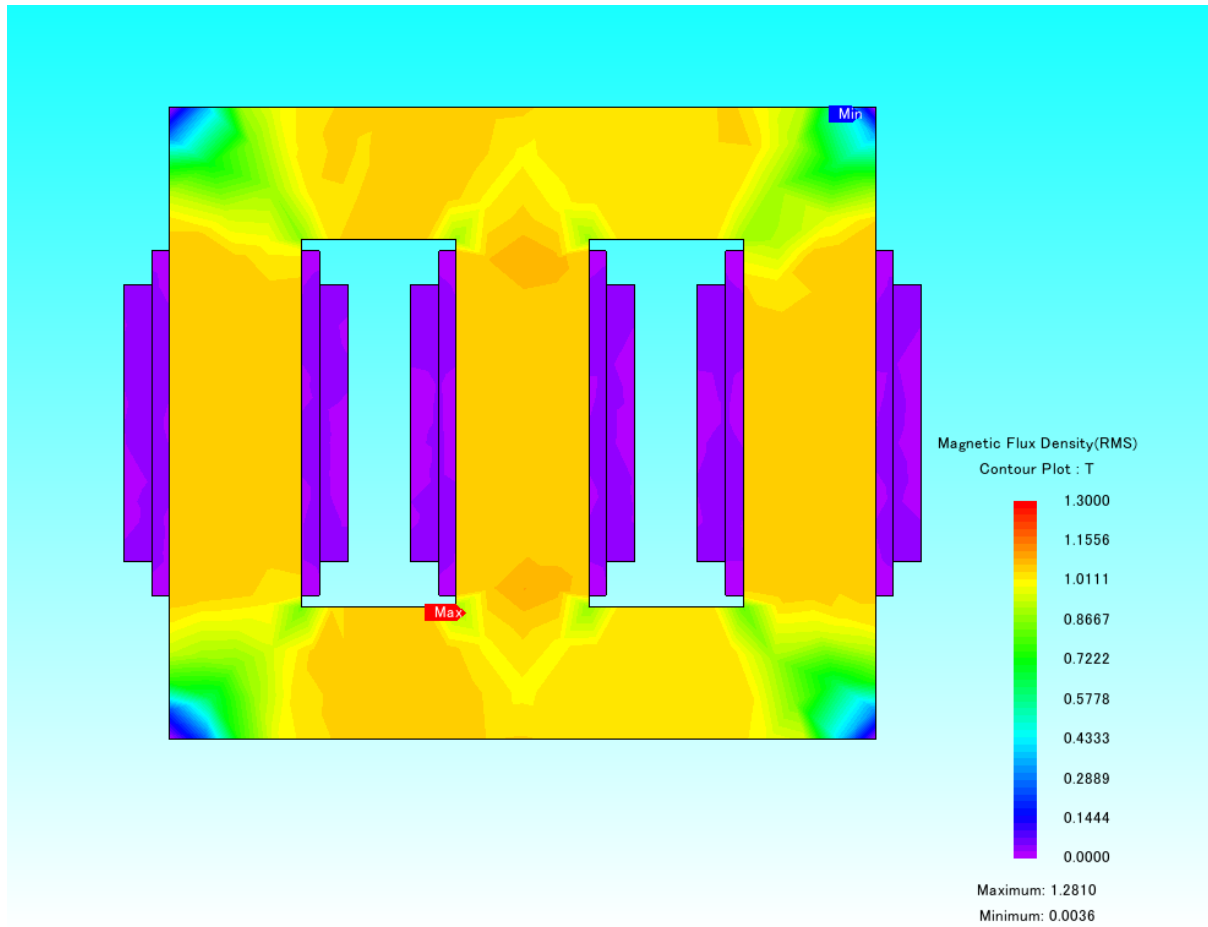
9.1 Gráfico tipo “Contour Plot” de la magnetización



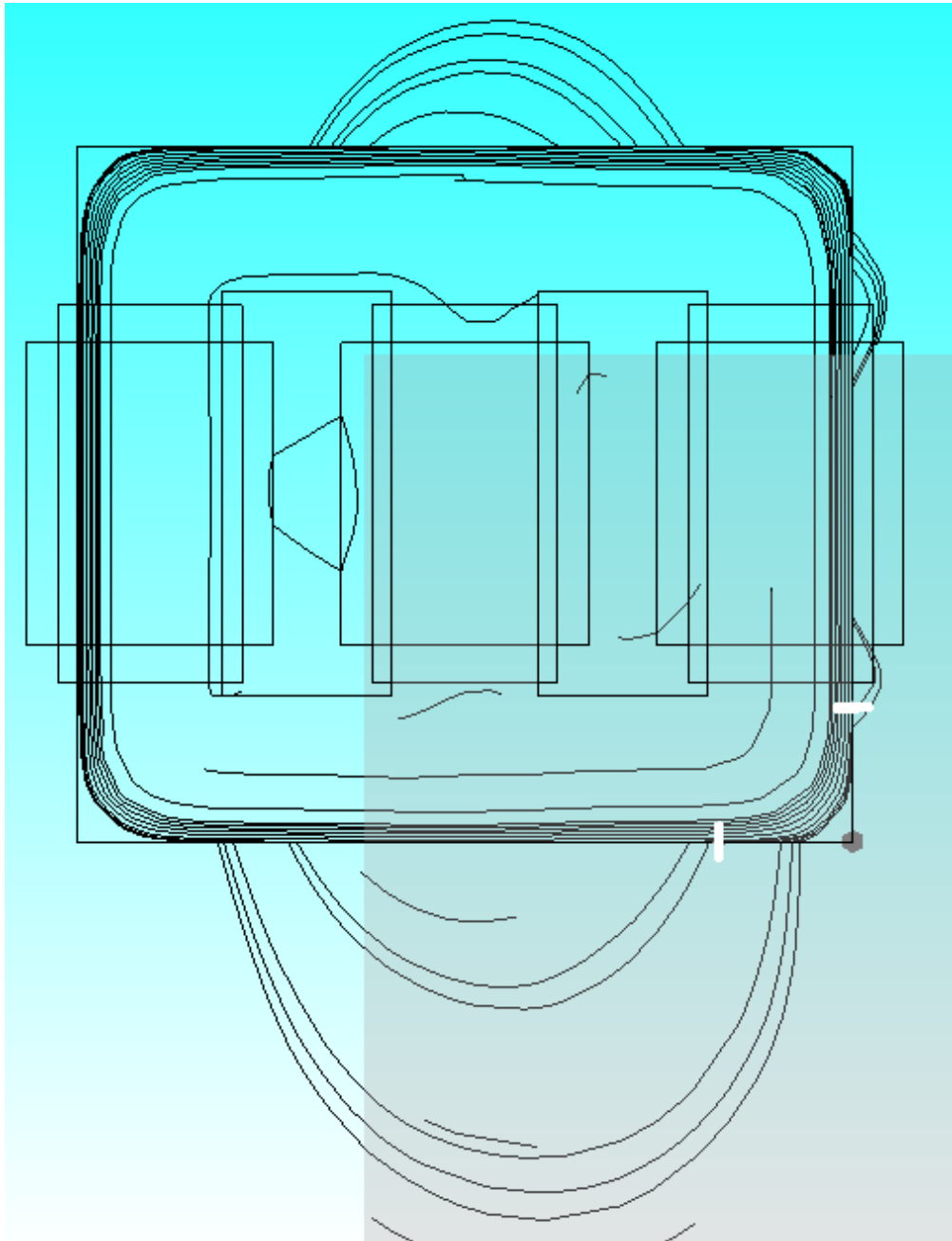
9.2 Gráfico tipo “Flux Line” de la magnetización



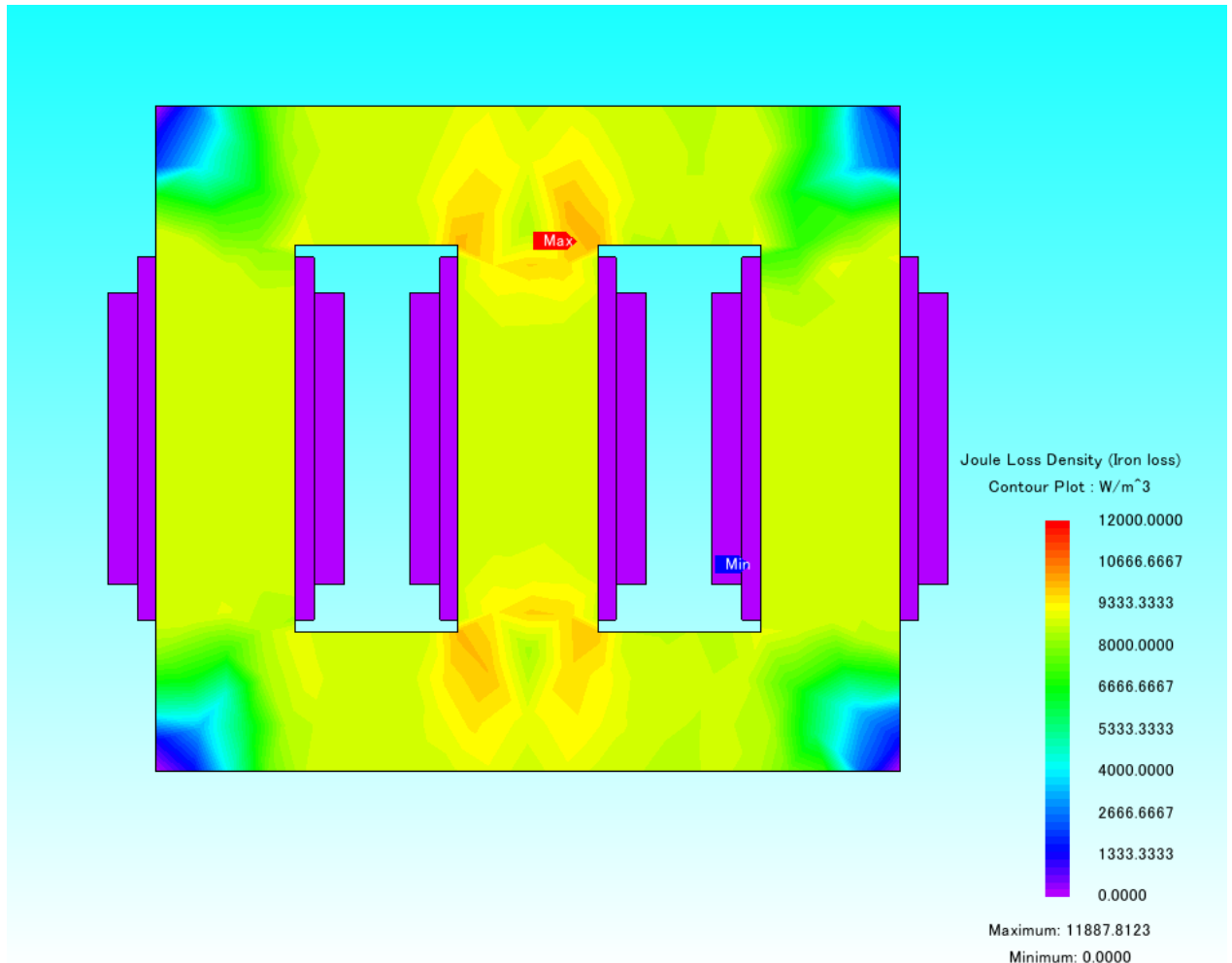
9.3 Gráfico tipo “Contour Plot” de la densidad de flujo magnético



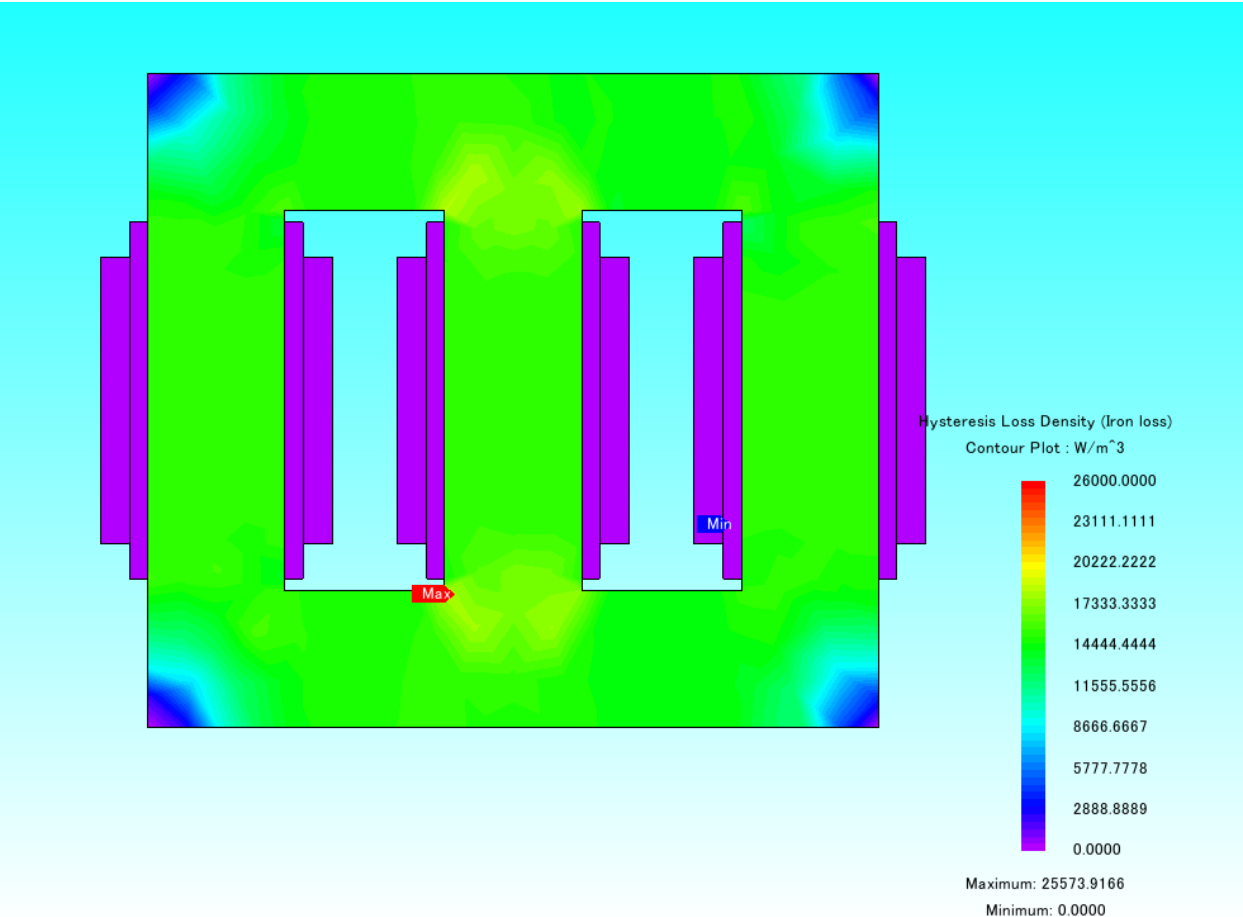
9.4 Gráfico tipo “Flux Line” de la densidad de flujo magnético



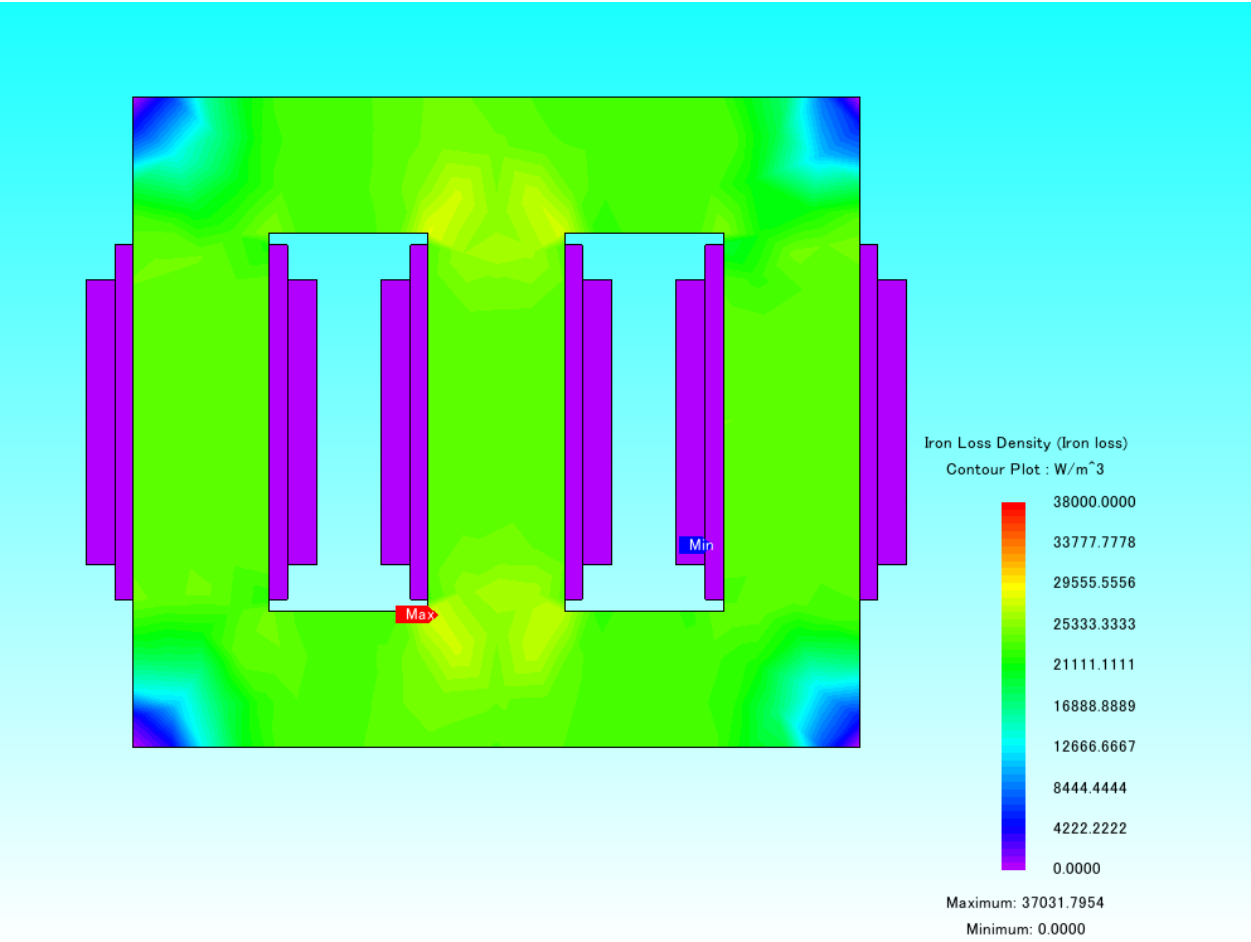
9.5 Gráfico tipo “Contour Plot” de la densidad de pérdidas de Joule



9.6 Gráfico tipo “Contour Plot” de la densidad de pérdidas de histéresis



9.7 Gráfico tipo “Contour Plot” de la densidad de pérdidas del hierro



9.8 Resultados de las pérdidas de Joule en cada elemento

JMAG-Designer: Table Results

Study Title: DEFINITIVO

Case: 1

Joule Loss Hysteresis Loss Circuit Current

Joule Loss: W <Frequency, Hz: 60, Step: 1>

	Value
Core	0.000000000E+0
U2	3.9991490506E+2
U1	4.2621317853E+2
V1	4.2235638417E+2
W1	4.1471883527E+2
V2	4.0036940281E+2
W2	4.0575312387E+2
Air Region	0.000000000E+0
Total	2.4693258297E+3

9.9 Resultados de la corriente en cada elemento

 JMag-Designer: Table Results

Study Title: DEFINITIVO

Case: 1

Joule Loss Hysteresis Loss **Circuit Current** Circuit Electric Power Circuit Voltage Coil Flux-Linkage FEM Coil Inductance (

Circuit Current: A <Frequency, Hz: 60, Step: 1>

	Real	Imaginary	Amplitude	Phase	RMS
R1	4.0052634515E+1	6.4498719901E+2	6.4622960349E+2	8.6446590061E+1	4.5695333483E+2
R2	-5.7863015260E+2	-2.8707396095E+2	6.4592903058E+2	-1.5361275536E+2	4.5674079769E+2
R3	5.3857751808E+2	-3.5791323807E+2	6.4665881960E+2	-3.3606139394E+1	4.5725683645E+2
U1	-1.1264980415E+1	-1.5077086051E+1	1.8820688285E+1	-1.2676557773E+2	1.3308236313E+1
U2	-2.0692974613E+2	-3.0931981603E+2	3.7215409231E+2	-1.2378185581E+2	2.6315268232E+2
V1	1.8618796359E+1	-2.0864839826E+0	1.8735340757E+1	-6.3940778514E+0	1.3247886497E+1
V2	3.7170040647E+2	-2.2245855081E+1	3.7236550624E+2	-3.4250031214E+0	2.6330217454E+2
VS1	0.0000000000E+0	0.0000000000E+0	0.0000000000E+0	0.0000000000E+0	0.0000000000E+0
W1	-7.1740979694E+0	1.7123021885E+1	1.8565170620E+1	1.1273240824E+2	1.3127558040E+1
W2	-1.6687711161E+2	3.3566738299E+2	3.7486072398E+2	1.1643427781E+2	2.6506655992E+2

9.10 Resultados de la potencia eléctrica en cada elemento

Joule Loss	Hysteresis Loss	Circuit Current	Circuit Electric Power
Circuit Electric Power: W <Frequency, Hz: 60, Step: 1>			
	Value		
R1(active power)	2.6100793776E+5		
R1(reactive power)	0.0000000000E+0		
R1(apparent power)	2.6100793776E+5		
R2(active power)	2.6076519534E+5		
R2(reactive power)	0.0000000000E+0		
R2(apparent power)	2.6076519534E+5		
R3(active power)	2.6135476810E+5		
R3(reactive power)	0.0000000000E+0		
R3(apparent power)	2.6135476810E+5		
U1(active power)	2.6431238537E+5		
U1(reactive power)	3.1356303333E+4		
U1(apparent power)	2.6616584082E+5		
U2(active power)	-2.6020553662E+5		
U2(reactive power)	-9.3770832178E+2		
U2(apparent power)	2.6020722624E+5		
V1(active power)	2.6331064587E+5		
V1(reactive power)	2.9507463020E+4		
V1(apparent power)	2.6495883945E+5		
V2(active power)	-2.6052651600E+5		
V2(reactive power)	9.2359260120E+2		
V2(apparent power)	2.6052815311E+5		
VS1(active power)	0.0000000000E+0		
VS1(reactive power)	0.0000000000E+0		
VS1(apparent power)	0.0000000000E+0		
W1(active power)	2.6044295620E+5		
W1(reactive power)	3.3213791029E+4		
W1(apparent power)	2.6255226022E+5		

9.11 Resultados de la tensión en el terminal de salida

Joule Loss	Hysteresis Loss	Circuit Current	Circuit Electric Power	Circuit Voltage	Coil Flux-Linkage	FEM Coil Inductance	
Circuit Voltage: V <Frequency, Hz: 60, Step: 1>							
	Real	Imaginary	Amplitude	Phase	RMS		
salida	5.0065793144E+1	8.0623399877E+2	8.0778700436E+2	8.6446590061E+1	5.7119166854E+2		

9.12 Resultados de los enlaces de flujo de las bobinas

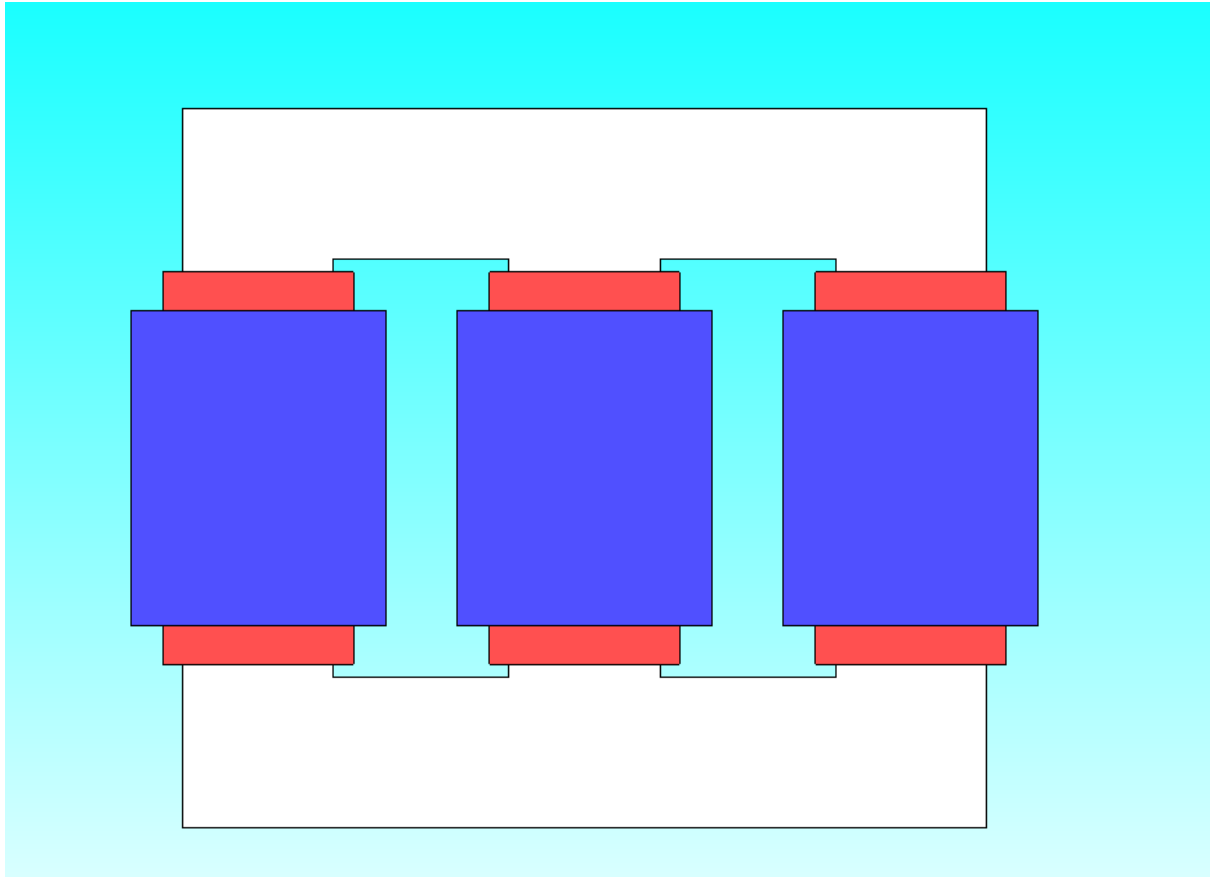
Study Title: DEFINITIVO							
Case: 1							
Joule Loss	Hysteresis Loss	Circuit Current	Circuit Electric Power	Circuit Voltage	Coil Flux-Linkage	FEM Coil Inductance	Circuit
Coil Flux-Linkage: Wb <Frequency, Hz: 60, Step: 1>							
	Real	Imaginary	Amplitude	Phase	RMS		
U1	-6.4063440689E+1	3.8331933918E+1	7.4655619954E+1	1.4910608777E+2	5.2789495123E+1		
U2	3.1316354989E+0	-2.0103419934E+0	3.7213728419E+0	-3.2698286338E+1	2.6314079718E+0		
V1	-1.1618557394E+0	-7.4655783399E+1	7.4664823737E+1	-9.0891612861E+1	5.2796003181E+1		
V2	1.7862825856E-1	3.7191522612E+0	3.7234394847E+0	8.7250237240E+1	2.6328693090E+0		
W1	6.5214342164E+1	3.6328732229E+1	7.4650433417E+1	2.9120719396E+1	5.2785827687E+1		
W2	-3.3100667567E+0	-1.7095031040E+0	3.7254453152E+0	-1.5268564664E+2	2.6342876453E+0		

9.13 Resultados de las pérdidas del hierro del núcleo

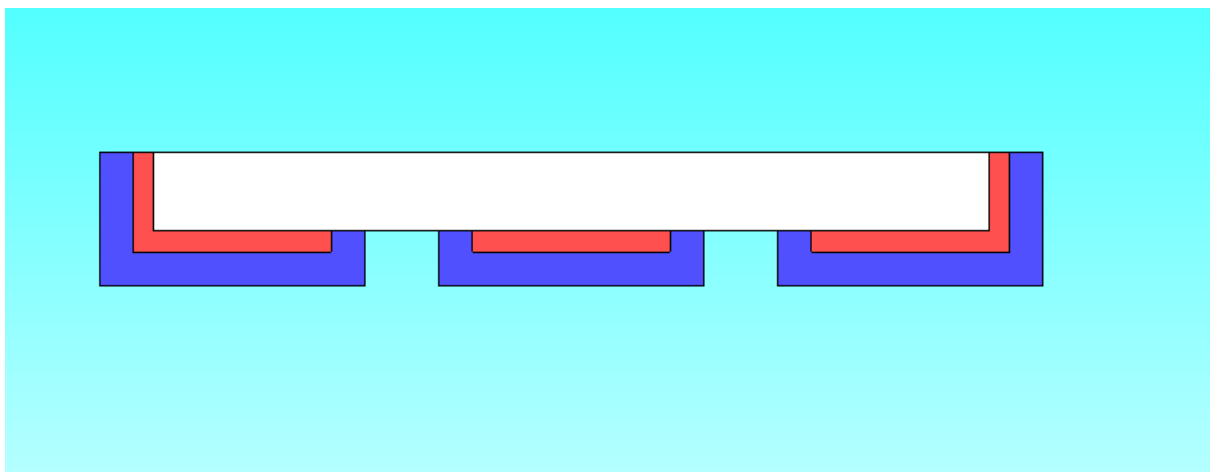
Coil Flux-Linkage	FEM Coil Inductance	Circuit Loss	Iron Loss	Joule Loss (Iron loss)	Iron Loss (Iron loss)
Iron Loss (Iron loss): W <Frequency, Hz: 60, Step: 1>					
	Value				
Core	1.2610224353E+3				
Total	1.2610224353E+3				

10 VISTAS DEL TRANSFORMADOR EN 3D

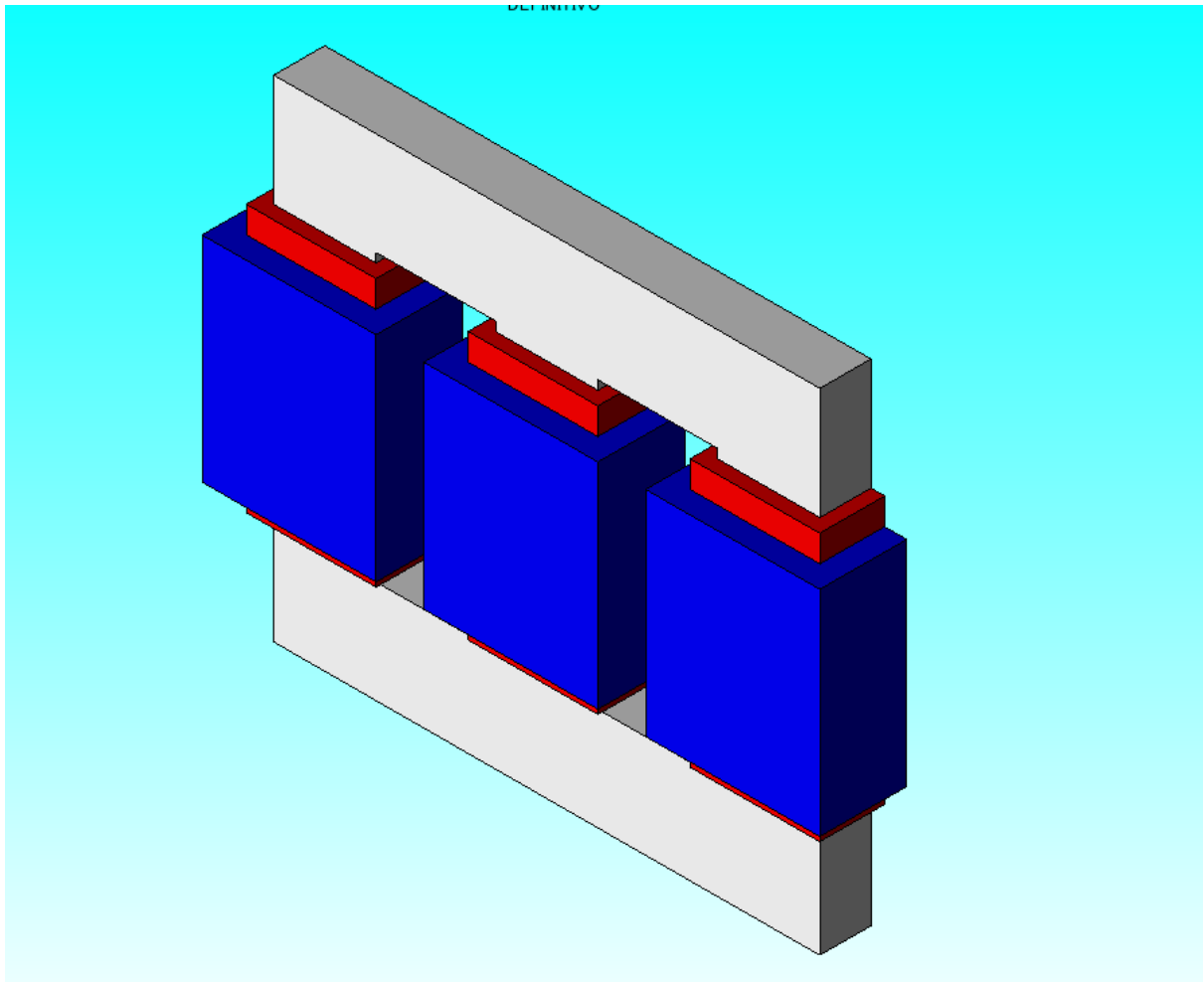
10.1 Alzado



10.2 Planta



10.3 Isométrica



PLIEGO DE CONDICIONES

1 GENERALIDADES.....	113
2 NORMATIVA LEGAL GENERAL	114
2.1 ORDEN CIN/351/2009 DEL MINISTERIO DE CIENCIA E INNOVACIÓN, DE 9 DE FEBRERO, POR LA QUE SE ESTABLECEN LOS REQUISITOS PARA LA VERIFICACIÓN DE LOS TÍTULOS UNIVERSITARIOS OFICIALES QUE HABILITEN PARA EL EJERCICIO DE LA PROFESIÓN DE INGENIERO TÉCNICO INDUSTRIAL.....	114
3 NORMATIVA LEGAL UNIVERSITARIA.....	115
3.1 REAL DECRETO 822/2021, DE 28 DE SEPTIEMBRE, POR EL QUE SE ESTABLECE LA ORGANIZACIÓN DE LAS ENSEÑANZAS UNIVERSITARIAS Y DEL PROCEDIMIENTO DE ASEGURAMIENTO DE SU CALIDAD	115
3.2 RESOLUCIÓN DE 15 DE ABRIL DE 2013, DE LA UNIVERSIDAD DE CANTABRIA, POR LA QUE SE PUBLICA EL PLAN DE ESTUDIOS DE GRADUADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES	115
3.3 MEMORIA PARA LA SOLICITUD DE VERIFICACIÓN DEL GRADO UNIVERSITARIO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES DE LA UNIVERSIDAD DE CANTABRIA ...	116
4 NORMATIVA ADMINISTRATIVA UNIVERSITARIA.....	120
4.1 NORMATIVA DE GESTIÓN ACADÉMICA DE LOS ESTUDIOS DE GRADO DE LA UNIVERSIDAD DE CANTABRIA (ACUERDO DE CONSEJO DE GOBIERNO DE 17 DE FEBRERO DE 2023).....	120
4.2 GUÍA DOCENTE G733 DE LA ASIGNATURA TRABAJO FIN DE GRADO.....	125
4.3 NORMATIVA DEL TRABAJO FIN DE GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES DE LA ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS INDUSTRIALES Y DE TELECOMUNICACIÓN (ETSIIYT) (COMISIÓN ACADÉMICA DE 19 DE NOVIEMBRE DE 2021).....	128
5 NORMAS TÉCNICAS FORMALES DEL DOCUMENTO	137
5.1 NORMA DE INFORMES PERICIALES UNE 197001.....	138
5.2 NORMA DE PROYECTOS TÉCNICOS UNE 157001.....	142
5.3 NORMA SOBRE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN, DE DIRECTRICES PARA LA REDACCIÓN DE REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS Y DE CITAS DE RECURSOS DE INFORMACIÓN.....	148

1 GENERALIDADES

El Pliego de Condiciones de este Trabajo Fin de Grado (TFG) tiene como misión reunir y establecer las condiciones legales, administrativas y formales para que el objeto del TFG (desarrollo y presentación) se realice en las condiciones especificadas por la Universidad de Cantabria, el director y el autor del trabajo.

La extensión y estructura de este documento está en función del tipo de TFG que, en este caso, se trata de un estudio práctico titulado, cálculo y simulación por computador con el software JMAG de un transformador trifásico de potencia de 800kVA, 20kV/1000V y 60 Hz y el análisis de sus pérdidas de potencia. Este Pliego de Condiciones integra cuatro apartados que se desarrollan a continuación.

2 NORMATIVA LEGAL GENERAL

2.1 Orden CIN/351/2009 del Ministerio de Ciencia e Innovación, de 9 de febrero, por la que se establecen los requisitos para la verificación de los títulos universitarios oficiales que habiliten para el ejercicio de la profesión de Ingeniero Técnico Industrial.

Aunque este título académico no comporta la obtención del título profesional de Ingeniero Técnico Industrial, la memoria de verificación de la titulación (apartado 3.3 de este Pliego de Condiciones) refiere a esta normativa legal sobre profesiones reguladas. En su artículo único, sobre requisitos de los planes de estudios conducentes a la obtención de los títulos de Grado que habiliten para el ejercicio de la profesión de Ingeniero Técnico Industrial, establece: *“Los planes de estudios conducentes a la obtención de los títulos de Grado que habiliten para el ejercicio de la profesión de Ingeniero Técnico Industrial, deberán cumplir, además de lo previsto en el Real Decreto 1393/2007, de 29 de octubre, por el que se establece la ordenación de las enseñanzas universitarias oficiales, los requisitos respecto a los apartados del Anexo I del mencionado Real Decreto que se señalan en el anexo a la presente Orden.”*

En el apartado 5 del Anexo de la Orden se indica que deberá: *“...realizarse un trabajo fin de grado de 12 créditos. El plan de estudios deberá incluir como mínimo, los siguientes módulos”. Siendo el último módulo “Trabajo fin de grado” y las competencias que deben adquirirse “Ejercicio original a realizar individualmente y presentar y defender ante un tribunal universitario, consistente en un proyecto en el ámbito de las tecnologías específicas de la Ingeniería Industrial de naturaleza profesional en el que se sintetizan e integren las competencias adquiridas en las enseñanzas.”*

3 NORMATIVA LEGAL UNIVERSITARIA

3.1 Real Decreto 822/2021, de 28 de septiembre, por el que se establece la organización de las enseñanzas universitarias y del procedimiento de aseguramiento de su calidad

En su capítulo III, sobre organización básica de las enseñanzas universitarias oficiales de Grado, en su artículo 14, sobre directrices generales para el diseño de los planes de estudios de las enseñanzas de Grado, y en su punto 6 establece: *“El trabajo de fin de Grado, de carácter obligatorio y cuya superación es imprescindible para la obtención del título oficial, tiene como objetivo esencial la demostración por parte del o la estudiante del dominio y aplicación de los conocimientos, competencias y habilidades definitorios del título universitario oficial de Grado. Este trabajo de fin de Grado dispondrá de un mínimo de 6 créditos para todos los títulos, y un máximo de 24 créditos para los títulos de 240 créditos, de 30 créditos en los títulos de 300 créditos y de 36 créditos en los títulos de 360 créditos. Deberá desarrollarse en la fase final del plan de estudios, siguiendo los criterios que cada universidad o centro establezca. Asimismo, los trabajos de fin de Grado deberán ser defendidos en un acto público, siguiendo la normativa que a tal efecto establezca el centro o en su caso la universidad.”*.

3.2 Resolución de 15 de abril de 2013, de la Universidad de Cantabria, por la que se publica el plan de estudios de Graduado en Ingeniería en Tecnologías Industriales

En el punto 3 de su Anexo, sobre estructura del Plan de Estudios, establece *“Módulo-Trabajo de fin de Grado, Carácter-Obligatorio, ECTS-12”*.

3.3 Memoria para la solicitud de verificación del Grado Universitario en Ingeniería en Tecnologías Industriales de la Universidad de Cantabria

En el apartado 3, sobre objetivos, el sub-apartado 3.2 sobre competencias a adquirir por el estudiante, y el punto 3.2.2 sobre competencias específicas del módulo de trabajo fin de grado, indica *“ITI_PFG1. Capacidad de integración”*.

En el apartado 5, sobre planificación de las enseñanzas, el sub-apartado 5.1 sobre estructura de las enseñanzas, y el punto 5.1.1 sobre distribución del plan de estudios en créditos ECTS por tipo de materia, indica *“TABLA 1. Resumen de las materias y distribución en créditos ECTS”* y en la tabla *“Tipo de materia-Trabajo Fin de Grado, ETCS-12”*.

En el apartado 5, sobre planificación de las enseñanzas, y el sub-apartado 5.3 sobre descripción detallada de los módulos o materias de enseñanza-aprendizaje de que consta el plan de estudios, incluye estos atributos *“Denominación de la materia-PROYECTO FIN DE GRADO, Créditos ECTS-12, Carácter/Tipo-Obligatorio”*, y una descripción sobre las competencias y resultados del aprendizaje que el estudiante adquiere con el Trabajo Fin de Grado que extracto e inserto a continuación:

“Capacidad para la redacción y desarrollo de proyectos en el ámbito de la Ingeniería Industrial que tengan por objeto la construcción, reforma, reparación, conservación, demolición, fabricación, instalación, montaje o explotación de estructuras, equipos mecánicos, instalaciones energéticas, instalaciones eléctricas y electrónicas, instalaciones y plantas industriales y procesos de fabricación y automatización, todo ello, en el ámbito de la tecnología específica de la titulación de la rama industrial cursada por el alumno.

Capacidad para la dirección de las actividades objeto de los proyectos de ingeniería descritos en el párrafo anterior.

Capacidad para el manejo de especificaciones, reglamentos y normas de obligado cumplimiento.

Capacidad de analizar y valorar el impacto social y medioambiental de las soluciones técnicas.

Competencias y resultados del aprendizaje

- *Generales de la titulación*

ITI_GT1. Adquisición de la capacidad para dirigir las actividades objeto de los proyectos de ingeniería descritos en el epígrafe anterior.

ITI_GT3. Adquisición de la capacidad de resolver problemas con iniciativa, toma de decisiones, creatividad,

razonamiento crítico y de comunicar y transmitir conocimientos, habilidades y destrezas en el campo de la Ingeniería Industrial.

ITI_GT5 Adquisición de la capacidad para manejar especificaciones, reglamentos y normas de obligado cumplimiento.

ITI_GT6 Adquisición de la capacidad de analizar y valorar el impacto social y medioambiental de las soluciones técnicas.

ITI_GT9 Adquisición de la capacidad de trabajar en un entorno multilingüe y multidisciplinar.

- *Generales transversales*

GTRA1. Desarrollo del pensamiento crítico.

GTRA2. Desarrollo del pensamiento creativo.

GTRA3. Adquisición de la capacidad de gestionar el tiempo.

GTRA4. Adquisición de la capacidad de resolver problemas.

GTRA7. Adquisición de la capacidad de comunicarse verbalmente.

GTRA8. Adquisición de la capacidad de comunicación escrita.

GTRA10. Adquisición de la capacidad de adaptarse al entorno.

GTRA12. Adquisición de la capacidad de comunicación interpersonal.

GTRA14. Desarrollo de la creatividad.

GTRA15. Adquisición de la capacidad de innovar.

GTRA16. Adquisición de la capacidad de gestionar proyectos

- *Específicas del módulo de selección de tecnología específica*

ITI_PFG1. Adquisición de la capacidad de realizar un ejercicio original individualmente y presentar y defender ante un tribunal universitario, consistente en un proyecto en el ámbito de las tecnologías específicas de la Ingeniería Industrial de naturaleza profesional en el que se sinteticen e integren las competencias adquiridas en las enseñanzas.

Ver anexos: 2.- Listado de competencias 3.- Tabla de materias - competencias”

En el apartado 5, sobre planificación de las enseñanzas, y el sub-apartado 5.3 sobre descripción detallada de los módulos o materias de enseñanza-aprendizaje de que consta el plan de estudios, incluye los requisitos previos con esta descripción: *“Al tratarse de un Trabajo Fin de Grado, son necesarios los conocimientos de las distintas materias de carácter obligatorio impartidas en la titulación, si bien algunas de ellas podrían cursarse simultáneamente con la realización del trabajo.”*.

En el apartado 5, sobre planificación de las enseñanzas, y el sub-apartado 5.3 sobre descripción detallada de los módulos o materias de enseñanza-aprendizaje de que consta el plan de estudios, incluye las actividades formativas en créditos ECTS y su metodología de enseñanza aprendizaje con esta descripción y un reparto orientativo *“Ejercicio original a realizar individualmente y presentar y defender ante un tribunal universitario, consistente en un proyecto en el ámbito de las tecnologías específicas de la ingeniería industrial, de naturaleza profesional, en el que se sinteticen e integren las competencias adquiridas en las enseñanzas.*

Como referencia, la dedicación a cada una de estas actividades estará en torno a los siguientes porcentajes: Clases presenciales-Tutorías-10%-Evaluación 5% No presenciales-Trabajo autónomo-85%”.

En el apartado 5, sobre planificación de las enseñanzas, y el sub-apartado 5.3 sobre descripción detallada de los módulos o materias de enseñanza-aprendizaje de que consta el plan de estudios, incluye el sistema de evaluación de la adquisición de las competencias y el sistema de calificaciones con esta indicación *“Defensa, ante un tribunal, del Proyecto Fin de Carrera-100%”*.

En el apartado 5, sobre planificación de las enseñanzas, y el sub-apartado 5.3 sobre descripción detallada de los módulos o materias de enseñanza-aprendizaje de que consta el plan de estudios, incluye una breve descripción de los contenidos del Trabajo Fin de Grado que extracto e inserto a continuación:

“El módulo, cubre las competencias descritas en la Orden CIN/351/2009, de 9 de febrero, por la que se establecen los requisitos para la verificación de los títulos universitarios oficiales que habiliten para el ejercicio de la profesión de Ingeniero Técnico Industrial, en el apartado proyecto fin de grado.

La elaboración de los Proyectos Fin de Carrera comprenderá las siguientes fases:

1ª.- Oferta anual, por parte de los profesores de la titulación y, en particular, por los profesores del Área de Proyectos, de distintos temas que puedan ser objeto de la realización de proyectos fin de carrera. Se procurará que los alumnos concreten el tema a realizar y tengan asignado Director del Proyecto dentro del primer cuatrimestre de 4º curso, sin perjuicio de que puedan surgir temas como consecuencia de la realización por los alumnos de prácticas en empresas.

2ª.- Asignación formal, por parte de los tribunales que hayan de juzgar los PFC, del tema específico y del Director del proyecto, de acuerdo con la normativa que rige la elaboración y defensa de los PFC, aprobada por la Junta de Escuela.

3ª.- Seguimiento del desarrollo de los trabajos, por parte del Director del Proyecto.

4ª.- Depósito de los ejemplares del Proyecto dentro de los plazos establecidos para cada convocatoria, previa autorización del director del Proyecto. Período para el análisis del documento por los miembros del tribunal nombrado al efecto.

5ª.- Exposición y defensa pública del PFC.”

4 NORMATIVA ADMINISTRATIVA UNIVERSITARIA

4.1 Normativa de gestión académica de los estudios de grado de la Universidad de Cantabria (acuerdo de Consejo de Gobierno de 17 de febrero de 2023)

En su título VI, nominado Trabajo Fin de Grado, establece en los apartados uno a diez las siguientes condiciones que se extractan e insertan a continuación:

“1. OBJETO Y ÁMBITO DE APLICACIÓN

1. Esta normativa contiene las directrices relativas a la definición, realización, defensa, calificación y tramitación administrativa de los Trabajos de Fin de Grado (en adelante TFG) que se establezcan en los planes de estudios de las distintas titulaciones oficiales de la Universidad de Cantabria que conduzcan a la obtención del Título de graduado de acuerdo con la regulación del R.D. 822/2021.

2. Queda a discreción de cada centro el desarrollo ulterior de la presente normativa para adecuarla a las características propias de cada uno de los títulos de Grado que se impartan en su centro. En cualquier caso, las normas que establezcan los centros deberán ser públicas y adecuarse a lo dispuesto en esta normativa.

2. CARACTERÍSTICAS DEL TFG

1. El TFG consistirá en la realización por parte del estudiante de un trabajo original, autónomo y personal, bajo la orientación de un profesor, en el que se apliquen y desarrollen los conocimientos y capacidades adquiridos a lo largo de la titulación, demostrando que ha alcanzado las competencias previstas en el plan de estudios. El término original queda referido a que en ningún caso pueda ser un trabajo plagiado ni presentado con anterioridad por el alumno en ninguna otra asignatura. Se deberán citar las fuentes utilizadas.

2. La carga de trabajo que el estudiante invierta a lo largo de la realización del TFG debe corresponderse con los créditos ECTS que le otorgue el plan de estudios.

3. El trabajo será desarrollado, defendido y calificado individualmente sin perjuicio de que, cuando el tema elegido así lo aconseje, pueda ser elaborado en colaboración con otros estudiantes, en la manera que el Reglamento del Centro lo prevea.

4. Excepcionalmente, siempre que así esté previsto en la Memoria de Verificación del título, el Trabajo Fin de Grado se podrá ubicar dentro de una materia o módulo que permita favorecer la interacción de grupos heterogéneos mejorando así las capacidades de trabajo cooperativo y de comunicación de los estudiantes.

Esta materia o módulo estará integrado por el Trabajo Fin de Grado y un grupo de asignaturas establecido en la Memoria de Verificación.

A efectos de matrícula, plan docente y actas, la gestión se realizará como una asignatura.

En cualquier caso, el Trabajo Fin de Grado deberá tener una calificación individual y ser evaluado y defendido de acuerdo con lo establecido en esta normativa.

5. En el caso de aquellos planes de estudio que contemplen la posibilidad de realizar Menciones y la Memoria de Verificación del título establezca que el Trabajo Fin de Grado está asociado a la Mención con contenidos y características diferenciados para cada una de las Menciones, los estudiantes que cursen más de una Mención, deberán realizar un Trabajo Fin de Grado para cada una de ellas.

3. DIRECCIÓN DEL TRABAJO FIN DE GRADO

1. Cada TFG tendrá asignado al menos un profesor director, que dirigirá y tutorizará” (tutorará) “al alumno a lo largo de la realización del trabajo.

2. Serán obligaciones del director del TFG las siguientes:

a) Establecer claramente los objetivos del TFG, así como la metodología y plan de trabajo.

b) Proporcionar guía, consejo y apoyo al alumno durante la realización del trabajo.

c) Supervisar al alumno en la toma de decisiones que afecten a la estructura del trabajo, tratamiento de los temas, correcta presentación y orientación bibliográfica.

d) Determinar la consecución de los objetivos propuestos y autorizar la presentación del TFG.

e) Conocer los trámites de gestión necesarios para la realización del TFG, facilitando al estudiante los distintos pasos que tiene que dar en cada momento.

3. El director de un TFG deberá ser profesor del centro responsable de la titulación, siendo preferible que sea profesor de la misma. Además, podrá actuar como codirector un profesor de la Universidad o un profesional externo a la misma.

4. En los TFG realizados en instituciones o empresas externas a la Universidad de Cantabria, existirá la figura de un codirector perteneciente a la institución o empresa. En estos casos, el director compartirá con el codirector las tareas de dirección y orientación del estudiante, siendo en cualquier caso responsabilidad del director facilitar la gestión académica.

5. El Centro establecerá los mecanismos necesarios para asegurar que cada estudiante tenga un director y un trabajo, así como para solventar cualquier incidencia que pudiera surgir durante el desarrollo del mismo. Cuando, por circunstancias sobrevenidas, el director cause baja, el centro arbitrará las medidas oportunas para su sustitución.

4. MATRICULACIÓN Y REQUISITOS PARA LA DEFENSA

1. El TFG podrá ser objeto de matrícula por el estudiante en cualquier momento del curso académico hasta la fecha límite de entrega de actas de la convocatoria extraordinaria de junio, siempre que esté matriculado de todas las asignaturas necesarias para acabar la titulación, excepto, si es el caso, las que tenga pendientes de reconocimiento.

2. La defensa del TFG solo podrá llevarse a cabo cuando el estudiante haya superado todas las asignaturas del Grado y acredite haber alcanzado las competencias lingüísticas descritas en el Título V de la presente Normativa.

3. Si el estudiante está matriculado del TFG y no puede defenderlo en dicho curso académico por no tener superadas las restantes asignaturas del Grado, o por no haber alcanzado los requisitos lingüísticos, deberá matricularse nuevamente cuando esté en disposición de defenderlo.

4. La matrícula del TFG da derecho al estudiante a presentarse a dos convocatorias en un mismo curso académico. Si una vez finalizado dicho curso el alumno no hubiese aprobado su TFG, deberá matricularse de nuevo.

5. PERIODOS DE DEFENSA

Los TFG se podrán defender y evaluar en las convocatorias oficiales establecidas por el Centro durante el curso académico que serán, al menos, cuatro.

6. DEPÓSITO DEL TRABAJO

1. Cada alumno deberá realizar una memoria en la que se incluya el desarrollo del trabajo realizado y en la que deberán constar el título de la misma y un resumen escritos en español y en inglés. Todos los TFG deberán contener una portada en la que se detalle el grado, la Facultad o Escuela, título del TFG, nombre del alumno, nombre del director y del codirector si lo hubiera y el año en que se presenta.

2. El Reglamento del Centro podrá concretar más aspectos relativos a la presentación de los TFG y a la forma y plazos en que el estudiante debe depositar su TFG.

7. EVALUACIÓN DEL TFG

1. El Centro regulará la forma de evaluación del TFG y fijará los criterios de valoración y el procedimiento de defensa. Entre los criterios de valoración estarán, al menos, los siguientes: la calidad científica y técnica del TFG presentado, la calidad del material entregado, la claridad expositiva, y la capacidad de debate y la defensa argumental.

2. Se garantizará que al menos uno de los evaluadores del TFG sea profesor de la titulación.

3. El Centro publicará con al menos una semana de antelación, el lugar, día y hora fijados para la defensa de cada trabajo.

8. DEFENSA DEL TFG

1. La defensa del TFG se realizará en un acto público, bien en español o en inglés, en la manera que establezca el Reglamento del Centro.

2. El alumno realizará la defensa del TFG mediante la exposición oral de su contenido o de las líneas principales del mismo y contestará a las preguntas y aclaraciones que se le planteen. El Reglamento del Centro fijará los tiempos que correspondan a cada una de las partes de la defensa.

3. La defensa del TFG se realizará en modalidad presencial. No obstante, se podrá realizar en la modalidad “a distancia” siempre que esté debidamente justificada, existan las condiciones técnicas que lo permitan y se garantice la defensa del TFG.

4. En la modalidad a distancia será necesario que la Comisión Académica y la dirección del TFG tomen las medidas necesarias y oportunas para garantizar la identidad del estudiante y evitar así su suplantación.

9. CALIFICACIÓN Y ACTAS

1. Una vez finalizado el acto de defensa del TFG se firmará el acta individual correspondiente a cada alumno utilizando el sistema de calificación establecido en el Real Decreto 1125/2003. Los TFG no estarán sujetos al porcentaje de Matrículas de Honor previstos en el citado Real Decreto. Todos los estudiantes matriculados en el Trabajo Fin de Grado que no se presenten a la defensa, figurarán en un acta única expedida al finalizar el curso académico.

2. En el caso de que un TFG obtuviera la calificación de suspenso, el evaluador hará llegar un informe al estudiante y a su Director con los criterios que han motivado dicha calificación. Dicho informe podrá incluir recomendaciones para mejorar la calidad del mismo.

3. Los plazos de calificación y entrega de actas serán acordados para cada curso académico por los órganos de gobierno de la Universidad.

10. REPOSITORIO UCrea

1. Con el fin de dar cumplimiento a la normativa sobre política institucional de acceso abierto a la producción académica, científica e investigadora de la Universidad de Cantabria (Repositorio Ucrea), una vez finalizada la presentación de los trabajos fin de grado, aquéllos que resulten aprobados deberán depositarse en el repositorio institucional de acceso abierto de la UC.

2. Para realizar este depósito, las Secretarías de los Centros enviarán una copia de los trabajos en formato electrónico a la Biblioteca Universitaria junto con el documento de consentimiento de los autores y la modalidad de acceso elegida.

3. La Biblioteca se ocupará también de la conservación de los trabajos cuya difusión no haya sido autorizada por los autores y garantizará el acceso a los mismos para evaluadores, gestores u otras personas en los términos previstos en las disposiciones aplicables.”

4.2 Guía Docente G733 de la asignatura Trabajo Fin de Grado

Las condiciones de desarrollo del Trabajo Fin de Grado, citadas en las normativas anteriores, se reúnen en la Guía Docente de esta actividad o asignatura.

En su apartado 2, sobre prerequisites, se establece *“Para poder matricularse del TFG es necesario matricularse de todas las asignaturas que queden para completar la titulación. Para poder presentarlo y defenderlo, hay que tener aprobadas todas las asignaturas de la titulación y acreditar haber alcanzado las competencias lingüísticas establecidas en la Universidad de Cantabria.”*.

En su apartado 3, sobre competencias genéricas y específicas, se reproducen las mismas del apartado 3.3 de este Pliego de Condiciones.

En su apartado 4, sobre objetivos de la asignatura, se establecen: *“Que el estudiante realice un trabajo original, autónomo y personal, cuyo objetivo es mostrar la adquisición de competencias asociadas a la titulación” y “Que el estudiante muestre sus competencias en la elaboración de una memoria que recoja el trabajo realizado y en la defensa en sesión pública del mismo. El trabajo contendrá suficientes elementos de creación personal y citarán adecuadamente todas las fuentes utilizadas”*.

En su apartado 5, sobre modalidades organizativas y métodos docentes, se establece el siguiente reparto orientativo de 300 horas totales de la actividad: *“Seminarios, tutorías, sesiones de laboratorio, etc. realizados con el Director del Trabajo-30 horas”, “Evaluación y Defensa del TFG-15 horas”, “Búsqueda y estudio de documentación, trabajo autónomo de laboratorio o de campo. Desarrollo del trabajo. Escritura de la memoria y preparación de la presentación-225 horas”*.

En su apartado 6, sobre organización docente de la asignatura, se establece:

- *“Organización de la oferta y asignación de Trabajos Fin de Grado”*

“El tema del TFG podrá definirse entre el alumno y el Director del trabajo o ser asignado por el Área de Proyectos.

Para iniciar el desarrollo del TFG, su título y sus líneas de desarrollo deberán contar con la conformidad del Tribunal correspondiente que esté en activo en ese momento. A tal efecto el alumno lo solicitará formalmente en el Negociado de la Escuela mediante la Ficha de Asignación y que se deberá presentar al menos en la convocatoria anterior a la de la defensa del trabajo. En el caso de que el informe sea desfavorable, el Tribunal deberá justificar razonadamente el mismo.”

- *“Temporización: convocatorias, fechas de entrega y defensa de cada convocatoria”. Establece los siguientes fases y fechas de cumplimentación: “Asignación del TFG-AI menos en una convocatoria anterior a la que se realice la defensa”, “Presentación de la memoria-AI menos una semana antes al acto de presentación”, “Convocatorias de defensa del TFG-Diciembre, Febrero, Mayo, Julio, Septiembre”*
- *“¿En qué consiste el TFG? (descripción de la memoria y del material necesario para realizar su defensa pública)”*

“El Trabajo Fin de Grado podrá realizarse de acuerdo con el concepto clásico de Proyecto que se recoge en la norma UNE 157001 "CRITERIOS GENERALES PARA LA ELABORACIÓN DE PROYECTOS", estructurado en los ocho documentos básicos: Índice General, Memoria, Anexos, Planos, Pliego de Condiciones, Estado de Mediciones, Presupuesto y, cuando proceda, Estudios con Entidad Propia. Dependiendo del tipo de Trabajo, especialmente los ligados a modelos experimentales y prototipos, o con alto contenido informático, puede ser conveniente otra estructuración más acorde con la naturaleza de estos trabajos. En esos casos se mantendrá en lo posible y con las adaptaciones necesarias, la estructura tradicional ya que ello facilitará su posterior análisis y revisión y proporcionará uniformidad en la presentación.

El Trabajo Fin de Grado realizado quedará plasmado en un documento en formato PDF.

El formato del documento respetará lo indicado en

<http://web.unican.es/centros/etsiit/Paginas/TFG.aspx>.

La presentación ha de realizarse en formato póster en una sesión pública de hasta tres horas de duración como tiempo de referencia. Es decir el alumno se apoyará en un póster de tamaño A1 y podrá añadir, opcionalmente, una presentación utilizando un ordenador portátil o la presentación de un demostrador en una pequeña mesa.”

- *“Observaciones”*

“Los datos de esta guía académica se extraen de la Memoria del Plan de Estudios y de la Normativa de Trabajo Fin de Grado en Ingeniería en Tecnologías Industriales, aprobada en Comisión Académica de Ingeniería Industrial de 15 de diciembre de 2020.”

En su apartado 7, sobre métodos y criterios de evaluación, se establece:

- *“Composición del tribunal encargado de juzgarla”*

“Para evaluar los TFG se constituirá un Tribunal para cada Materia Optativa reconocida en el Plan de Estudios: 1) Gestión y Organización Industrial, 2) Diseño Mecánico, 3) Electroenergética, 4) Electrónica y Automática y 5) Química.

En cada convocatoria se elegirá para cada Materia Optativa entre la lista de los profesores con docencia de los Grados de la familia Industrial a 4 profesores para formar parte de los Tribunales de Trabajos Fin de Grado cuya composición será la de Presidente, Secretario y dos Vocales. En cada tribunal el presidente será preferentemente un profesor del área de la Materia Optativa. Las designaciones de los profesores se realizarán de forma rotativa.”

- *“Descripción del acto de defensa”*

“La presentación consiste en que, a lo largo de la sesión, los miembros del tribunal (juntos o individualmente) reciben una explicación por parte del alumno y las respuestas a las preguntas que pudieran formular. El alumno se mantiene en el póster durante la sesión o bien se cita con los miembros del tribunal. Fuera del tiempo de explicación del alumno a los miembros del tribunal los posters quedan a exposición pública y el alumno puede atender a los interesados en el trabajo.”

- *“Criterios de valoración orientativos. Establece los siguientes criterios y ponderación: “Calidad científica y técnica del TFG presentado-30%”, “Calidad del*

material entregado-30%", "Claridad expositiva-25%" y "Capacidad de debate y la defensa argumental-15%"

- *"Observaciones"*

"El Tribunal rellenará el Acta con las calificaciones correspondientes y la firmará.

El Presidente entregará en el Negociado de la Escuela el Acta, los documentos con las calificaciones y la copia en formato pdf del Trabajo Fin de Grado. El Negociado publicará las calificaciones.

Cuando parte del Trabajo Fin de Grado haya sido realizado con la ayuda y participación de empresas privadas, el Director del Trabajo podrá solicitar a la Comisión Académica, que para su depósito en la biblioteca se entregue una versión de la memoria en la que aquellos datos confidenciales de la empresa o del Trabajo fin de Grado sean omitidos.

Los alumnos que lo soliciten recibirán por escrito una argumentación de las deficiencias observadas por el Tribunal."

Termina la Guía docente con una observación en su apartado 8, sobre competencias lingüísticas en inglés, que dice: *"Se admite, sin ser obligatorio, la presentación del documento y defensa en inglés. En el caso de alumnos que realizan el proyecto en un programa de intercambio internacional, podrán presentar el documento en el idioma de la universidad en el que se realiza el trabajo"*.

4.3 Normativa del Trabajo Fin de Grado en Ingeniería en Tecnologías

Industriales de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros

Industriales y de Telecomunicación (ETSIIyT) (Comisión Académica de 19 de noviembre de 2021)

Su contenido establece las siguientes condiciones:

"1. CONSIDERACIONES GENERALES

1. El Trabajo Fin de Grado (en adelante TFG) es un trabajo original, autónomo y personal realizado por el estudiante, cuyo objetivo es mostrar la adquisición de competencias asociadas a la titulación.

2. El TFG debe ser dirigido por un “Director de Trabajo”. El estudiante deberá confeccionar una memoria que recoja el trabajo realizado, el cual defenderá en sesión pública ante un Tribunal, que lo calificará. El trabajo contendrá suficientes elementos de creación personal y citarán adecuadamente todas las fuentes usadas.

2. TIPOS DE TRABAJO

Los TFG atenderán a una de las siguientes tipologías:

a) Proyecto clásico: pueden versar, por ejemplo, sobre el diseño e incluso la fabricación de un prototipo, la ingeniería de una instalación de producción, la implantación de un sistema en cualquier campo de la ingeniería o un proyecto integral de naturaleza profesional. En este apartado se incluyen los Proyectos de Instalaciones y Plantas Industriales.

b) Estudios técnicos, organizativos o económicos: realización de estudios de equipos, sistemas, servicios, productos y mercados que traten cualquiera de los aspectos de diseño, planificación, producción, gestión, explotación, comunicación, información y cualquier otro propio de los campos de estudio de la titulación, que integre las competencias propias de la misma, relacionando cuando proceda alternativas técnicas con evaluaciones económicas, discusión y valoración de los resultados. En este apartado se incluyen los Proyectos de Desarrollo de Prototipos.

c) Trabajos teóricos, experimentales o numéricos, trabajos de naturaleza teórica, computacional o experimental, en conexión con las líneas de investigación y desarrollo de los Departamentos implicados en la Titulación, que constituyan una contribución a la técnica en los diversos campos de estudio de la Titulación, incluyendo, cuando proceda, evaluación económica, discusión y valoración de los resultados. En este apartado se incluyen los Proyectos de Productos Software, los Proyectos de Investigación y los Proyectos de Consultoría y Auditoría.

3. DIRECCIÓN

1. El Director de un Trabajo Fin de Grado puede ser un profesor que imparta docencia en alguno de los Grados y Másteres de la familia Industrial de la Escuela, esto es, Grados en Ingeniería en Tecnologías Industriales, Ingeniería Mecánica, Ingeniería Eléctrica, Ingeniería Electrónica y Automática, Ingeniería Química y Másteres en Ingeniería

Industrial y de Investigación en Ingeniería Industrial. Igualmente, pueden ser Directores de un TFG los investigadores con suficiencia investigadora que impartan docencia en dichas titulaciones. Los profesores de la Escuela que no impartan docencia en alguna de las titulaciones mencionadas podrán ser directores de un TFG con el visto bueno de la Comisión Académica.

2. El TFG podrá ser realizado en una empresa bajo la dirección de un titulado superior de la misma. Se incluyen también en este supuesto los titulados (ingeniero, licenciado, arquitecto, y grado o máster universitario) contratados por la Universidad de Cantabria en proyectos de investigación. En estos dos supuestos la propuesta deberá contar con la aprobación del Subdirector-Jefe de estudios. Dicha propuesta ha de especificar, a la vez, la designación de un Profesor Ponente, que cumpla las condiciones para ser director del TFG según se indica en el apartado anterior. Dicho Profesor Ponente actuará de coordinador entre el director del TFG y el Centro.

3. El Trabajo Fin de Grado podrá ser co-dirigido,” (codirigido,) “siempre que los Directores cumplan los requisitos anteriores, y haciendo constar una lista de los mismos en la memoria.

4. La realización del TFG dentro del programa Erasmus - Sócrates u otros convenios de colaboración referentes al Plan de Estudios tendrá la convalidación que se contemple en el propio convenio.

4. CONTENIDO Y ESTRUCTURA DEL TFG

1. El Trabajo Fin de Grado se realizará preferentemente de acuerdo con el concepto clásico de Proyecto que se recoge en la norma UNE 157001 "CRITERIOS GENERALES PARA LA ELABORACIÓN DE PROYECTOS", estructurado en los ocho documentos básicos: Índice General, Memoria, Anexos (Cálculos, Seguridad, Medio Ambiente, etc.), Planos, Pliego de Condiciones, Estado de Mediciones, Presupuesto y, cuando proceda, Estudios con Entidad Propia.

2. Dependiendo del tipo de Trabajo, especialmente los ligados a modelos experimentales y prototipos, o con alto contenido informático, puede ser conveniente otra estructuración más acorde con la naturaleza de estos proyectos. En esos casos se mantendrá en lo posible y con las adaptaciones necesarias la estructura tradicional, ya

que ello facilitará su posterior análisis y revisión y proporcionará uniformidad en la presentación.

3. El Trabajo Fin de Grado realizado quedará plasmado en un documento en formato PDF.

4. El formato respetará lo indicado al final de esta normativa.

5. MATRÍCULA Y CONVOCATORIAS DEL TFG

1. La matrícula del TFG se podrá efectuar en cualquiera de los períodos hábiles abonando las tasas correspondientes a los créditos fijados para el mismo. Los plazos de matrícula del TFG serán establecidos por el Negociado del Centro.

2. Si el estudiante está matriculado del TFG y no puede defenderlo en dicho curso académico, deberá matricularse nuevamente cuando esté en disposición de defenderlo.

3. Las convocatorias ordinarias en un curso académico se harán públicas en un plazo máximo de un mes desde el inicio del curso. Los estudiantes podrán solicitar la convocatoria de tribunal de forma extraordinaria en otras fechas que estarán sujetas al informe favorable del Jefe de Estudios.

6. ASIGNACIÓN DEL TÍTULO Y DIRECTOR DEL TFG

1. El tema del TFG podrá definirse entre el alumno y el Director del trabajo o ser asignado por el Área de Proyectos de Ingeniería.

2. Para iniciar el desarrollo del TFG, su título y sus líneas de desarrollo deberán contar con la conformidad del Tribunal correspondiente que esté en activo en ese momento. A tal efecto, el alumno lo solicitará en el Negociado de la Escuela mediante la Ficha de Asignación recogida en el anexo y que se deberá presentar al menos en la convocatoria anterior a la de la defensa del proyecto. En el caso de que el informe sea desfavorable, el Tribunal deberá justificar razonadamente el mismo.

7. DESIGNACIÓN DE TRIBUNALES

1. Para evaluar los TFG se constituirá un Tribunal para la Titulación.

2. En cada convocatoria se elegirá entre los profesores con docencia en Grados de la familia Industrial a 3 profesores (1 presidente, 1 secretario y un 1 vocal) para formar

parte del Tribunal. Asimismo, se designará a un suplente que deberá estar presente en la constitución del tribunal y actuar como miembro cuando fuera necesario.

3. La composición del Tribunal se hará pública con suficiente antelación.

4. La designación de un profesor como miembro del Tribunal es irrenunciable, salvo causa de fuerza mayor o circunstancia especial que lo impida. En este último caso el profesor deberá solicitar su renuncia por escrito, dirigido al Subdirector-Jefe de Estudios y al director de departamento correspondiente, manifestando el motivo.

5. La designación de los profesores será rotativa. En el caso de fuerza mayor o circunstancia especial que impida actuar como tribunal a un miembro designado éste pasará a formar parte del tribunal inmediatamente siguiente.

8. PRESENTACIÓN A EXAMEN

1. Sólo podrán proceder a la presentación del TFG los alumnos que hayan aprobado todos los demás créditos de la Titulación y tengan la conformidad del Tribunal a través de la ficha de asignación.

2. Para proceder a la presentación del TFG, el Director del proyecto o el Ponente, dará previamente su autorización por escrito, según la ficha de autorización recogida en el anexo, y, si lo considera oportuno, podrá acompañarla de un informe para el Tribunal.

3. Para realizar el examen, el alumno deberá entregar en el Negociado del Centro el documento TFG y su resumen, ambos en formato PDF, según las indicaciones del anexo al menos cinco días antes del comienzo del acto de presentación. Al inicio del TFG se ha de incluir un resumen que, junto con el título, deben estar redactados en español y en inglés.

4. El Jefe de Estudios propondrá la fecha y hora de convocatoria del Tribunal.

5. El Negociado del Centro será el encargado de publicar el lugar, fecha y hora para la presentación de los trabajos y hará llegar a cada miembro del Tribunal una copia (PDF) de los documentos del TFG, con una antelación de, al menos, cuatro días antes de la presentación del TFG. En el caso de que alguno de los miembros del Tribunal, a la vista de la memoria considere que el trabajo no tiene la calidad suficiente para ser declarado apto, al menos 24 horas antes de defensa pública lo comunicará al Subdirector-Jefe de

Estudios de la titulación, que se lo hará saber al estudiante y al resto de miembros del tribunal. El Subdirector-Jefe de Estudios se reunirá con los miembros del Tribunal para resolver de la forma más adecuada.

6. Para que actúe el Tribunal deberán estar presentes tres miembros del mismo. La presidencia recaerá en el profesor de mayor categoría docente y antigüedad. Ejercerá como secretario el profesor de menor categoría docente y antigüedad.

7. La presentación ha de realizarse en formato póster en una sesión pública de hasta tres horas de duración como tiempo de referencia. Es decir, el alumno se apoyará en un póster de tamaño A1 y podrá añadir, opcionalmente, una presentación utilizando un ordenador portátil o la presentación de un demostrador en una pequeña mesa. La presentación consiste en que, a lo largo de la sesión, los miembros del tribunal (juntos o individualmente) reciben una explicación por parte del alumno y las respuestas a las preguntas que pudieran formular. El alumno se mantiene en el póster durante la sesión o bien se cita con los miembros del tribunal. Fuera del tiempo de explicación del alumno a los miembros del tribunal los posters quedan a exposición pública y el alumno puede atender a los interesados en el trabajo.

9. EVALUACIÓN DEL TFG

1. Una vez finalizadas todas las presentaciones de una convocatoria, el Tribunal calificará los TFG teniendo en cuenta la calidad del contenido del documento, la adecuación de la estructura, la claridad en la exposición, las respuestas dadas a las preguntas que le formulen y, en su caso, la información aportada por el Director del TFG.

2. El Tribunal rellenará el Acta con las calificaciones correspondientes y la firmará.

3. El Presidente entregará en el Negociado de la Escuela el Acta los documentos con las calificaciones del Trabajo Fin de Grado. El Negociado publicará las calificaciones.

4. Cuando parte del TFG haya sido realizado con la ayuda y participación de empresas privadas, el Director del Proyecto podrá solicitar a la Comisión Académica de los estudios correspondientes, que para su depósito en la biblioteca se entregue una versión de la memoria en la que aquellos datos confidenciales de la empresa o del TFG sean omitidos.

5. Los alumnos que lo soliciten recibirán por escrito una argumentación de las deficiencias observadas por el Tribunal.

10. REPOSITORIO UCrea

1. Con el fin de dar cumplimiento a la normativa sobre política institucional de acceso abierto a la producción académica, científica e investigadora de la Universidad de Cantabria (Repositorio Ucrea), una vez finalizada la presentación de los TFG, aquellos que resulten aprobados deberán depositarse en el repositorio institucional de acceso abierto de la UC.

2. Para realizar este depósito, la Secretaría del Centro enviará una copia de los trabajos en formato electrónico a la Biblioteca Universitaria junto con el documento de consentimiento de los autores y la modalidad de acceso elegida.

3. La Biblioteca se ocupará también de la conservación de los trabajos cuya difusión no haya sido autorizada por los autores y garantizará el acceso a los mismos para evaluadores, gestores u otras personas en los términos previstos en las disposiciones aplicables.

11.- PROYECTOS FIN DE GRADO REALIZADOS EN PROGRAMAS DE INTERCAMBIO (Adaptación de lo aprobado en JUNTA DE ESCUELA DE 26- Junio-2008)

En el caso de que un alumno que participe en un programa de intercambio: Erasmus, u otro, incluya el TFG en el acuerdo académico deberá presentar en el Negociado de la Escuela la memoria del Trabajo Fin de Grado en disco compacto, con carátula correspondiente e impresos solicitados a todos los estudiantes del Grado (autorización de consulta en línea y documento de recogida de datos de egresados)."

En el caso de que dicho alumno no se matricule del TFG, se aplicará el punto 1.11 del título VII de la Normativa de Gestión Académica.

11.1 Compromiso del estudiante

El estudiante se compromete a realizar su matrícula conforme a la normativa de la Universidad en general y del Centro en particular. En dicha matrícula deberán incluirse todas las asignaturas previstas en el impreso del Plan de Estudios.

Si el alumno no cumple el compromiso indicado en la normativa no se considera el TFG realizado en el programa de intercambio para su inclusión en el expediente.

Para el caso en el que el Alumno que participa en el programa de intercambio, incluyendo el TFG en el acuerdo académico, se haya matriculado en éste, pero al finalizar el programa de intercambio no haya superado todos los créditos del plan de estudios a excepción del TFG

a) Se le guarda la calificación a la espera de la última convocatoria del curso que corresponde a su programa de intercambio.

b) Si al finalizar el curso sigue en la misma circunstancia de no haber superado todos los créditos:

Se le asigna un director y podrá presentar el trabajo realizado en el programa de intercambio ante el tribunal de TFG cuando el director dé el “visto bueno” con la ficha de “autorización de presentación a examen”.

No requiere el trámite de aprobación de la ficha de “asignación de título y director”.

No requiere cambio de formato, sino que entrega el documento generado en la Universidad de destino, aportando un resumen en castellano e inglés.

El Presidente podrá solicitar al Coordinador Erasmus la calificación obtenida por el alumno en la Universidad de destino traducida al sistema Español.” (español).” Esta calificación no condiciona la decisión del tribunal.”

Esta normativa de la ETSIIyT nombra los impresos relativos a estas condiciones académicas y cita como anexos los siguientes:

- Ficha de asignación de título y director del Trabajo Fin de Grado
- Ficha de autorización de presentación a examen del Trabajo Fin de Grado
- Hoja de Resumen del Trabajo Fin de Grado
- Formatos (portada e índices generales) del documento Trabajo Fin de Grado

También nombra otro impreso de consentimiento para depósito en el repositorio institucional UCrea para dar cumplimiento a la normativa anterior de Gestión Académica, pero no se incluye en el anexo.

Adicionalmente, la ETSIlyT solicita otro impreso para el seguimiento de sus egresados. Los impresos administrativos necesarios pueden obtenerse en la web de la ETSIlyT y se relacionan a continuación:

- Ficha de asignación de título y director del Trabajo Fin de Grado
- Ficha de autorización de presentación a examen del Trabajo Fin de Grado
- Impreso de consentimiento UCrea
- Impreso de seguimiento de egresados

5 NORMAS TÉCNICAS FORMALES DEL DOCUMENTO

Sin perjuicio de las recomendaciones del apartado 4.2 y las instrucciones del apartado 4.3 sobre condiciones formales de estructura y edición del documento, el autor considera que en estos trabajos académicos resulta oportuno aplicar los criterios generales de los documentos profesionales Informe Pericial, Proyecto Técnico y Proyecto de actividad, regulados en las normas UNE 197001 de julio de 2019, UNE 157001 de junio de 2014, y UNE 157601 de julio de 2007. Por este motivo, a continuación, se establecen las condiciones formales del documento.

Dado el objeto del Trabajo Fin de Grado, se descarta el formato de proyecto de actividad y se adopta el de informe pericial con adiciones del formato de proyecto técnico. Estas condiciones se concretan en las correspondencias, modificaciones y consideraciones siguientes (en mayúsculas se nombran los documentos del TFG).

- Se atienden las consideraciones sobre título, identificación (inicial y final) y paginación del informe pericial.
- La declaración de tachas y el juramento o promesa del informe pericial no procede incluirlos y se descartan.
- Se adopta el índice general del informe de pericial agregando apartados para los documentos procedentes del formato del proyecto técnico, simplemente ÍNDICE GENERAL del TFG. En este sentido, el cuerpo del informe y los anejos se corresponden con la Memoria y los Anexos del TFG, respectivamente. Los apartados añadidos al Índice General se corresponden con documentos agregados que se citan más tarde y son: Planos, Pliego de Condiciones, Mediciones, Presupuesto y Estudios con Entidad Propia (si es el caso).
- El cuerpo del informe se corresponde con la memoria del proyecto técnico, simplemente MEMORIA del TFG. La memoria del TFG se estructura con las pautas de un informe pericial, en las siguientes partes: objeto, alcance, antecedentes, consideraciones preliminares, documentos de referencia, terminología y abreviaturas, desarrollo del estudio y conclusiones.

- Los anejos del informe se corresponden con los anexos del proyecto técnico, simplemente ANEXOS del TFG.
- Se añaden los documentos PLANOS, PLIEGO DE CONDICIONES, MEDICIONES y PRESUPUESTO como en los proyectos técnicos.
- El documento MEDICIONES no procede porque este trabajo no comporta una realización material ni actividades experimentales. Carece de contenido concreto.
- El documento PRESUPUESTO no procede porque este trabajo no comporta una realización material ni ha requerido costes económicos de desarrollo. Carece de contenido concreto.
- No se incluye el documento ESTUDIOS CON ENTIDAD PROPIA.

En relación con el apartado Documentos de referencia de la Memoria se establecen las condiciones de presentación de referencias conforme a lo indicado en la norma UNE-ISO 690:2013, sub-apartado 5.2 en este apartado.

5.1 Norma de Informes Periciales UNE 197001

A continuación, se incluyen los contenidos de la norma sobre criterios generales para la elaboración de informes periciales, que serán de aplicación en el formato de este TFG. Los puntos 0 a 4 de la norma no son de aplicación en los TFG.

El contenido del TFG atenderá a lo indicado en el apartado 5, sobre contenido del informe pericial, que extractamos y relacionamos a continuación:

“Todo informe pericial debe constar de la siguiente estructura básica:

a) Título.

b) Identificación.

c) Paginación.”

La declaración de tachas y el requisito de veracidad no son de aplicación en los TFG y no forman parte del contenido del TFG.

“f) Índice del cuerpo del informe y de los anejos (si procede).

g) Cuerpo del informe.

h) Anejos (si procede).

5.1 Título

Todo informe pericial debe tener un título que lo identifique de forma clara e inequívoca.

5.2 Identificación

Es el elemento que contiene los datos necesarios, que a continuación se detallan, para identificar el informe pericial:

5.2.1 Al inicio del informe

a) El título y su código o referencia de identificación. Debe existir una correspondencia unívoca entre el código o la referencia del informe correspondiente, de forma que no pueda haber en un mismo emisor otro informe que disponga de la misma identificación.

b) El nombre del organismo u organismos a los que se dirige el informe pericial y el número de expediente o procedimiento, si lo hubiera.

c) El nombre y apellidos del perito, su titulación, y, en su caso, colegio o entidad a la que pertenece, número de colegiado/asociado y si dispone de número de registro como profesional experto certificado o certificado de cualificación profesional en la materia objeto de la pericia, documento de identificación, domicilio profesional, teléfono, fax, correo electrónico y cualquier otro identificador profesional que pudiera existir, salvo aquellos cuya revelación no sea legalmente procedente.

d) El nombre, apellidos y documento de identificación del solicitante del informe pericial, sea en nombre propio o en representación de otra persona física o jurídica, cuyos datos también deben figurar y cualquier otro identificador que pudiera existir, cuya revelación sea legalmente procedente.

e) En el caso en que el objeto del informe pericial contemple un emplazamiento geográfico concreto, se debe definir dicho emplazamiento (dirección y población) y, si procede, sus coordenadas geográficas.”

Los puntos f y g no son de aplicación en los TFG.

“...h) Cuando proceda, si existen más de un informe sobre un mismo asunto, ampliación o corrección, estos deben estar clara e inequívocamente identificados, indicando la referencia.

5.2.2 Al final del informe

a) Cuando proceda, la descripción del sistema del aseguramiento de la integridad del informe, utilizado por el perito.

b) La firma del perito o peritos autores del informe pericial.

c) La fecha de emisión del informe pericial.

5.3 Paginación

En todas las páginas del informe pericial debe figurar el código o referencia de identificación, el número de página y el número total de páginas.”

La declaración de tachas y el requisito de veracidad no son de aplicación en los TFG.

“...5.6 Índice general del cuerpo del informe y de los anejos

El índice general del informe pericial tiene como misión el facilitar la localización de todos y cada uno de los capítulos y apartados.

El índice debe indicar el número de página en que se inicia cada uno de los capítulos y apartados del informe pericial.

5.7 Cuerpo del informe pericial

5.7.1 Generalidades

El cuerpo del informe pericial es el documento principal de su estructura y asume la función de presentar y justificar las conclusiones.

El cuerpo del informe pericial debe ser claramente comprensible por todos los interesados, especialmente en lo que se refiere a sus objetivos, las investigaciones realizadas y las razones que han conducido a las conclusiones adoptadas.

5.7.2 Contenido

El orden y la denominación de los capítulos propuestos pueden variar si existen normas específicas para el tipo de pericia desarrollada o la entidad que va a realizar la pericial tiene procedimientos específicos.

A continuación, se indica la estructura mínima que debe tener el contenido de un informe pericial:

1 OBJETO

En este capítulo del cuerpo del informe pericial se debe indicar su finalidad.

2 ALCANCE

En este capítulo del cuerpo del informe pericial se deben indicar las cuestiones planteadas por el solicitante.

3 ANTECEDENTES

En este capítulo se deben indicar los hechos, cosas, sucesos o asuntos que se hayan producido con anterioridad al inicio del informe pericial, relacionados con la pericia en curso y que estén en conocimiento del perito.

4 CONSIDERACIONES PRELIMINARES

En este capítulo del cuerpo del informe pericial se deben enumerar todos aquellos datos de partida y actuaciones necesarias para la comprensión de la investigación llevada a cabo y su metodología empleada.

Se podrá incluir, en caso necesario, los criterios y técnicas utilizadas para garantizar la representatividad de la muestra objeto del informe pericial.

5 DOCUMENTOS DE REFERENCIA

Este capítulo del cuerpo del informe pericial debe recoger el conjunto de disposiciones normativas, otras normas de no obligado cumplimiento, la buena práctica profesional y la bibliografía que se han tenido en cuenta, y que hayan sido citadas en el informe pericial.

6 TERMINOLOGÍA Y ABREVIATURAS

En este capítulo del cuerpo del informe pericial se deben relacionar todas las definiciones de palabras técnicas, así como el desarrollo y significado de todas las abreviaturas o siglas que se hayan utilizado en el informe pericial.”

El punto 7 del contenido de informe pericial, relativo al desarrollo del estudio, es la parte central del TFG y también de su Memoria. Su estructura será acorde con la naturaleza del contenido técnico del TFG. No se establecen condiciones particulares para esta parte de la Memoria (desarrollo del estudio) en este Pliego de Condiciones.

“...8 CONCLUSIONES

En este capítulo del cuerpo del informe pericial se debe establecer de forma inequívoca la exposición técnica y experta resumida que se emite sobre los extremos que constan en el apartado 5.7.2 (punto 2 ALCANCE).

NOTA Se pueden añadir consideraciones adicionales que a juicio del perito maticen las conclusiones.

5.8 anejos

Los anejos forman parte inseparable de la estructura del informe pericial, y deben estar recogidos en el índice general.

Asimismo, deben estar identificados de manera correlativa y paginados de forma inequívoca.

Como anejo, el perito puede incluir las referencias, documentos, planos, fotografías, muestras y procedimientos de toma y conservación de las mismas, etc. que puedan fundamentar las conclusiones del informe pericial.”

5.2 Norma de Proyectos Técnicos UNE 157001

A continuación, se incluyen algunos contenidos de la norma sobre criterios generales para la elaboración formal de los documentos que constituyen un proyecto técnico, que serán de aplicación en el formato y edición de este TFG. Los puntos 0 a 5 de la norma no son de aplicación en los TFG con este tipo de estudios.

El contenido del TFG atenderá a lo indicado en los extractos de los apartados 6 a 11 que recopilamos a continuación.

En relación al apartado 6, sobre la memoria, y sub-apartado 6.1 sobre generalidades se indican las siguientes condiciones a aplicar en el documento Memoria del TFG:

“La Memoria es uno de los documentos que constituyen el Proyecto y asume la función fundamental de nexo de unión entre todos ellos.

Tiene como misión justificar las soluciones adoptadas” y sigue “y, conjuntamente con los planos y el pliego de condiciones, debe describir de forma unívoca el objeto del Proyecto.

La Memoria debe ser claramente comprensible, no sólo por profesionales especialistas sino por terceros, en particular por el cliente, y especialmente en lo que se refiere a los objetivos del Proyecto, las alternativas estudiadas, sus ventajas e inconvenientes, y las razones que han conducido a la solución elegida.”

Se añaden estas condiciones del sub-apartado 6.10 sobre el orden de prioridad entre los documentos:

“En este capítulo de la memoria el autor del Proyecto, frente a posibles discrepancias, debe establecer el orden de prioridad de los documentos del Proyecto.

Si no se especifica otra cosa, el orden de prioridad debe ser el siguiente:

1 Planos.

2 Pliego de condiciones.

3 Presupuesto.

4 Memoria.”

En relación al apartado 7, sobre los anexos, se indican las siguientes condiciones a aplicar en el documento Anexos del TFG:

“7.1 Generalidades

El documento Anexos está formado por los documentos que desarrollan, justifican o aclaran apartados específicos de la memoria u otros documentos del Proyecto.

7.2 Contenido

El documento Anexos, si forma parte de un volumen distinto al documento principal, se debe iniciar con un índice que haga referencia a cada uno de los documentos, capítulos y apartados que lo componen, con el fin de facilitar su utilización.

Este documento debe contener los anejos necesarios (según proceda en cada caso) correspondientes a:

- *Documentación de partida. Este Anexo debe incluir aquellos documentos que se han tenido en cuenta para establecer los requisitos de diseño.*
- *Cálculos. Este Anexo o Anexos tienen como misión justificar las fórmulas aplicadas, las soluciones adoptadas y, conjuntamente con los documentos planos y el pliego de condiciones, debe describir de forma unívoca el objeto del Proyecto.*

Debe contener las hipótesis de partida, los criterios y procedimientos de cálculo, así como los resultados finales base del dimensionado o comprobación de los distintos elementos que constituyen el objeto del Proyecto.

- *Anexos de aplicación en función del ámbito del Proyecto, son por ejemplo:*

- *Seguridad (prevención de incendios, sanidad, radiaciones, pública concurrencia, etc.).*

- *Medio ambiente (acústica, residuos, emisiones, etc.).*

- *Eficiencia energética.*

- *Emplazamiento del proyecto, Geotécnicos, Hidráulicos, Hidrológicos, Pluviométricos, etc.*

- *Gestión de residuos.*

- *Otros.*

- *Estudios con entidad propia*

Este documento debe contener todos aquellos estudios que deban incluirse en el Proyecto por exigencias legales.

Debe comprender, entre otros y sin carácter limitativo, los relativos a:

- *Estudio Básico de Seguridad y Salud o Estudio de Seguridad y Salud, según corresponda.*

- *Estudio de Impacto Ambiental.*

Cada anexo debe contener la justificación del cumplimiento de la normativa legal vigente aplicable y, si procede, de las fórmulas aplicadas para el cálculo.

- Otros documentos que justifiquen y aclaren conceptos expresados en el Proyecto

Se pueden incluir:

- Catálogos de los elementos constitutivos del objeto del Proyecto.

- Listados.

- Información en soportes lógicos, magnéticos, ópticos o cualquier otro.

- Maquetas o modelos.

- Otros documentos que se juzguen necesarios.”

En relación al apartado 8, sobre los planos, se indican las siguientes condiciones a aplicar en el documento Planos del TFG:

“8.1 Generalidades

El documento Planos es uno de los documentos que constituyen el Proyecto y tiene como misión, junto con la memoria, definir de forma unívoca el objeto del Proyecto.

8.2 Contenido

El documento Planos se debe iniciar con un índice que haga referencia a cada uno de los planos que contiene, indicando su ubicación en el documento, con el fin de facilitar su utilización.

Cada uno de los planos debe contener la información gráfica, alfanumérica, de códigos y de escala, necesaria para su comprensión y correcta ejecución de lo representado.

Los planos y la documentación técnica, en cuanto a principios generales de representación, cajetines, indicaciones, escritura, rotulación, acotación, símbolos gráficos, plegado, listas de elementos, escalas, métodos de proyección, formatos y presentación de los elementos gráficos y gestión de la información técnica asistida por ordenador, deben tener en cuenta, salvo indicación en contra del autor del Proyecto, lo indicado en las siguientes Normas: UNE 1027, UNE 1032, UNE 1035, UNE 1039, UNE 1089-1, UNE 1089-2, UNE 1135, UNE 1166-1, UNE-EN ISO 3098-0, UNE-EN ISO 3098-2, UNE-EN ISO 3098-3, UNE-EN ISO 3098-4, UNE-EN ISO 3098-5, UNE-EN ISO 3098-6, UNE-

EN ISO 5455, UNE-EN ISO 5456-1, UNE-EN ISO 5456-2, UNE-EN ISO 5456-3, UNE-EN ISO 5457, UNE-EN ISO 6433, UNE-EN ISO 10209-2, UNE-EN ISO 11442-1, UNE-EN ISO 11442-2, UNE-EN ISO 11442-3, UNE-EN ISO 11442-4, UNE-EN ISO 81714-1.”

En relación al apartado 9, sobre el pliego de condiciones, se indican las siguientes recomendaciones generales a aplicar en este documento Pliego de Condiciones del TFG:

“El Pliego de condiciones se debe iniciar con un índice que haga referencia a cada uno de los documentos, los capítulos y apartados que lo componen, con el fin de facilitar su utilización.

Debe contener:”, indicando sobre contenido relativo a normas y reglamentación en uno de sus puntos “d) La reglamentación y la normativa aplicables incluyendo las recomendaciones o normas de no obligado cumplimiento que, sin ser preceptivas, se consideran de necesaria aplicación al Proyecto a criterio de su autor.”

En relación al apartado 10, sobre mediciones, se indican las siguientes recomendaciones a aplicar en el documento Mediciones del TFG:

Sobre generalidades, *“El documento mediciones es uno de los documentos del Proyecto y tiene como misión definir y determinar las unidades de cada partida o unidad de obra que configuran la totalidad del producto, obra, edificio, instalación y servicios objeto del Proyecto, basándose en la información contenida en el documento “Planos”.*

Debe incluir el número de unidades y definir las características, modelos, tipos y dimensiones de cada partida de obra o elemento del objeto del Proyecto.

Preferentemente se debe utilizar el sistema internacional de unidades conforme a la Norma UNE 82100 (partes 0 a 13).

Se debe utilizar el concepto de partida alzada en aquellas unidades de obra en que no sea posible desglosar, en forma razonable, el detalle de las mismas.”

Y sobre contenido, *“El documento Mediciones, si forma parte de un volumen distinto al principal, se debe iniciar con un índice que haga referencia a cada uno de los documentos, los capítulos y apartados que lo componen, con el fin de facilitar su utilización.*

Debe contener un listado completo de las partidas de obra que configuran la totalidad del Proyecto.

Se debe subdividir en distintos apartados o subapartados, correspondientes a las partes más significativas del objeto del Proyecto.

Debe servir de base para la realización del Presupuesto.”

En relación al apartado 11, sobre presupuesto, se indican las siguientes recomendaciones a aplicar en el documento Presupuesto del TFG:

Sobre generalidades, “El Presupuesto es uno de los documentos del Proyecto y tiene como misión determinar el coste económico, en unidades monetarias, de la ejecución material del objeto del Proyecto especificando las partidas ejecutadas por contrata y/o por administración.

Se debe basar en el documento de Mediciones y seguir su misma ordenación.

En los proyectos administrativos es suficiente un resumen de las partidas más importantes (obras, cada una de las instalaciones, mobiliario y maquinaria, medidas correctoras, prevención de incendios, etc.).”

Y sobre contenido, “El Presupuesto se debe iniciar con un índice que haga referencia a cada uno de los documentos, los capítulos y apartados que lo componen, con el fin de facilitar su utilización.

El Presupuesto debe contener:

- un cuadro de precios unitarios de materiales, mano de obra y elementos auxiliares que componen las partidas o unidades

de obra;

- un cuadro de precios unitarios de las unidades de obra, de acuerdo con el documento de mediciones y con la descomposición correspondiente de materiales, mano de obra, elementos auxiliares y costes indirectos;

- el presupuesto propiamente dicho que contenga la valoración económica global, desglosada y ordenada según el documento

de mediciones.

El Presupuesto debe establecer el alcance de los precios, indicando claramente si incluyen o no conceptos tales como:

- gastos generales y beneficio industrial;*
- impuestos, tasas y otras contribuciones;*
- seguros;*
- costes de certificación y visado;*
- permisos y licencias; y*
- cualquier otro concepto que influya en el coste final de materialización del objeto del proyecto.”*

5.3 Norma sobre Información y documentación, de directrices para la redacción de referencias bibliográficas y de citas de recursos de información.

La citación y listado de documentos referenciados en cualquier parte del TFG atenderá a las condiciones estipuladas en la norma UNE-ISO 690 de mayo de 2013.

MEDICIONES

En este TFG no se han realizado mediciones ya que se trata de un estudio teórico en el que, a partir de unas condiciones preliminares, ya expuestas en su apartado correspondiente, se obtiene un transformador que opere de dicha forma.

Además, para la comprobación de dicho funcionamiento se utiliza el JMAG, un software que permite la obtención de resultados a partir de la simulación del transformador por lo que tampoco en este caso fue necesaria ninguna medición.

Por todo lo expuesto, este apartado no tendrá un desarrollo como el resto

PRESUPUESTO

En este TFG no se tendrá en cuenta el ámbito económico como se detalló en el apartado del alcance por lo que no se ha realizado tampoco un presupuesto como sería normal en este tipo de estudios.

En caso de haber realizado la presupuestación se debería haber tenido en cuenta en determinados puntos del trabajo, por ejemplo, en la elección de los materiales como la lámina de acero para el núcleo y la elección del cobre sobre el aluminio a pesar de este último ser más barato, también a la hora de seleccionar el refrigerante que se fuera a usar teniendo en cuenta posibles mantenimientos futuros.

El presupuesto, además contaría con el coste de la licencia del software usado, JMAG, que ronda los 1000 euros, dependiendo de la versión y la de un programa para la generación del diseño 3D, que puede ser Autocad o Inventor en caso de que el diseño del transformador, por complejidad, lo requiriese.

Habría que sumarse también el precio de la mano de obra de las personas que se encargasen de realizar los cálculos, el uso del software JMAG, incluso un posible proceso de aprendizaje previo en caso de que fuera necesario, y por último la redacción del proyecto final.

El mayor peso dentro del presupuesto lo tienen los materiales y el ensamblaje de todas las piezas, que en caso de transformadores de gran potencia puede ser muy caro.

A pesar de todo esto, debido a las bajas pérdidas que tienen los transformadores y su larga vida, la posibilidad que existe para los clientes de amortización de los transformadores es la suficiente como para permitirse el desembolso necesario para la compra de uno.

IDENTIFICACIÓN FINAL

ASEGURAMIENTO DE LA INTEGRIDAD DEL TRABAJO FIN DE GRADO

Normativa general	- Orden CIN/351/2009 del Ministerio de Ciencia e Innovación de 9 de febrero
Normativa legal universitaria	- Real Decreto 822/2021 de 28 de septiembre - Resolución de 15 de abril de 2013 de la UC - Memoria de verificación del Grado Universitario en Ingeniería en Tecnologías Industriales de la UC
Normativa administrativa universitaria	- Acuerdo de Consejo de Gobierno de la UC de 17 de febrero de 2023 (gestión académica de grado) - Guía Docente de la asignatura G733 del TFG - Acuerdo de Comisión Académica de la ETSIIyT de 19 de noviembre de 2021 (normas TFG-GITI) - Repositorio Ucrea (https://web.unican.es/buc)

PRESENTACIÓN Y DEFENSA DEL TRABAJO FIN DE GRADO

Lugar	Sala: Vestíbulo ETSIIyT Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales y de Telecomunicación (ETSIIT). Universidad de Cantabria (UC)
Fecha	8 de septiembre de 2023
Tribunal académico	Presidente: Álvarez Laso, Jose Alberto Secretario: Díez Ibarbia, Alberto Vocales: Miguel Díaz, José Ángel

FIRMA DEL AUTOR Y FECHA

MARCELA

22 de Julio de 2023