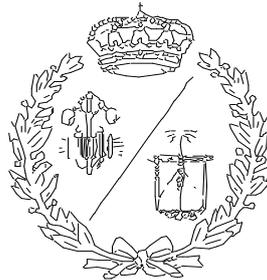


**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS  
INDUSTRIALES Y DE TELECOMUNICACIÓN**

**UNIVERSIDAD DE CANTABRIA**



***Trabajo Fin de Grado***

**DISEÑO ELECTROMAGNETICO DE UN  
GENERADOR TRIFASICO DE POLOS  
SALIENTES**

**(Electromagnetic design of a three-phase salient  
pole generator)**

Para acceder al Título de

**GRADUADO EN INGENIERÍA EN  
TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES**

**Autor: Daniel Díaz Ruiz**

**Julio - 2023**

## 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, como se recoge en el Pliego de Condiciones, la Orden CIN/351/2009, la Memoria de Verificación del título y la Normativa del Proyecto Fin de Grado de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales y de Telecomunicación establecen como competencia específica asignada al TFG que sea “un proyecto en el ámbito de las tecnologías específicas de la Ingeniería Industrial de naturaleza profesional”. Las normas UNE citadas (también incluidas en el Pliego de Condiciones) aportan ese carácter profesional.*

*Por estos motivos, es instructivo para el estudiante 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.*

<b>TÍTULO</b>	<b>DISEÑO ELECTROMAGNETICO DE UN GENERADOR TRIFASICO DE POLOS SALIENTES</b>		
<b>AUTOR</b>	<b>DANIEL DÍAZ RUIZ</b>		
<b>DIRECTOR / PONENTE</b>	<b>LUIS FERNANDO MANTILLA PEÑALBA</b>		
<b>TITULACIÓN</b>	<i>GRADO EN INGENIERIA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES</i>	<b>FECHA</b>	14/7/2023

## **PLABRAS CLAVE**

- **Generador síncrono**
- **Máquina eléctrica**
- **Simulación**
- **Cálculo clásico**
- **J-MAG**
- **Modelo informático**

## **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

Diseño de un generador de polos salientes trifásico desde el punto de vista del cálculo clásico de máquinas eléctricas, apoyado en el software de diseño de máquinas J-MAG Express, con su posterior simulación electromagnética en el programa J-MAG Designer.

## **DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO**

En este trabajo aborda el diseño electromagnético de un generador síncrono trifásico de polos salientes desde el punto de vista del cálculo clásico de máquinas eléctricas, y se complementa con la creación de un modelo informático del mismo. Además, se realizará una pequeña simulación de los fenómenos magnéticos que aparecen en su interior para completar el estudio.

Durante el desarrollo del trabajo será necesario el uso del software informático J-MAG Express y de J-MAG Designer. El primero será empleado para formar la plantilla del generador mientras que en el segundo se llevarán a cabo las simulaciones electromagnéticas.

Por tanto, los objetivos que persigue este trabajo son el diseño, y creación de un modelo de generador síncrono de polos salientes desde el punto de vista electromagnético.

## **CONCLUSIONES / PRESUPUESTO**

Una vez realizados los cálculos se ha podido ver que las dimensiones son relativamente parecidas a modelos similares además se ha comprobado que las características de la máquina son bastante similares al comportamiento esperado y que la respuesta electromagnética esta dentro de los valores determinados durante el desarrollo del estudio.

Respecto al presupuesto se ha decidido no incluirlo en este trabajo debido a que carece de sentido al no llevarse a cabo una construcción material del proyecto.

## **BIBLIOGRAFÍA**

AENOR. (2011). UNE-ISO 197001: Criterios generales para la elaboración de informes y dictámenes periciales.

AENOR. (2013). UNE-ISO 690: Directrices para la redacción de referencias bibliográficas y de citas de recursos de información.

AENOR. (2014). UNE-ISO 157001: Criterios generales para la elaboración formal de los documentos que constituyen un proyecto técnico.

Agarwal, R. K. (2014). Principles of Electrical Machines Design. S. K. Kataria & Sons.

J-MAG. (n.d.). JMAG: Simulation Technology for Electromechanical Design.

Mantilla Peñalba, L. F., & Rodriguez Pozueta, M. Á. (1991). Fundamentos electromagnéticos de la Electrotecnia. Santander: Servicio de Publicaciones, E.T.S. de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos.

Mittle, V. N., & Mittal, A. (2015). Design of Electrical Machines. Delhi: Standard Publishers Distributors.

<b>TITLE</b>	<b>ELECTROMAGNETIC DESIGN OF A THREE-PHASE SALIENT POLE GENERATOR</b>		
<b>AUTHOR</b>	<b>DANIEL DIAZ RUIZ</b>		
<b>DIRECTOR</b>	<b>LUIS FERNANDO MANTILLA PEÑALBA</b>		
<b>DEGREE</b>	<i>DEGREE IN INDUSTRIAL TECHNOLOGY</i>	<b>DATE</b>	14/7/2023

## KEY WORDS

- **Synchronous generator**
- **Electric machine**
- **Simulation**
- **Clasic Calculation**
- **J-MAG**
- **Computer model**

## PROBLEM STATEMENT

Design of a three-phase salient-pole generator from the point of view of classical electrical machine calculation, supported by the electrical machine design software J-MAG Express, with subsequent electromagnetic simulation in the J-MAG Designer.

## PROJECT DESCRIPTION

This work deals with the electromagnetic design of a three-phase synchronous generator with salient poles from the point of view of the classical calculation of electrical machines, and is complemented with the creation of a computer model. In addition, a small simulation of the magnetic phenomena that appear inside it will be carried out to complete the study.

During the development of the work it will be necessary to use the computer software J-MAG Express and J-MAG Designer. The former will be used to form the generator template, while the latter will be used to carry out the electromagnetic simulations.

Therefore, the objectives of this work are the design and creation of a model of a salient-pole synchronous generator from the electromagnetic point of view.

## **CONCLUSIONS/BUDGET**

Once the calculations had been carried out, it could be seen that the dimensions are relatively close to similar models and it has also been verified that the characteristics of the machine are quite similar to the expected behaviour and that the electromagnetic response is within the values determined during the development of the study.

With regard to the budget, it has been decided not to include it in this work because it is meaningless as there is no material construction of the project.

## **BIBLIOGRAPHY**

AENOR. (2011). UNE-ISO 197001: Criterios generales para la elaboración de informes y dictámenes periciales.

AENOR. (2013). UNE-ISO 690: Directrices para la redacción de referencias bibliográficas y de citas de recursos de información.

AENOR. (2014). UNE-ISO 157001: Criterios generales para la elaboración formal de los documentos que constituyen un proyecto técnico.

Agarwal, R. K. (2014). Principles of Electrical Machines Design. S. K. Kataria & Sons.

J-MAG. (n.d.). JMAG: Simulation Technology for Electromechanical Design.

Mantilla Peñalba, L. F., & Rodríguez Pozueta, M. Á. (1991). Fundamentos electromagnéticos de la Electrotecnia. Santander: Servicio de Publicaciones, E.T.S. de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos.

Mittle, V. N., & Mittal, A. (2015). Design of Electrical Machines. Delhi: Standard Publishers Distributors.

## IDENTIFICACIÓN INICIAL

<b>DATOS DEL PROYECTO</b>	
Título en español: Diseño electromagnético de un generador trifásico de polos salientes	
Título en inglés: Electromagnetic design of a three-phase salient pole generator	
<b>CÓDIGO:</b> GITI/22-23/DDR	
<b>DATOS DEL DESTINATARIO</b>	
Nombre	Luis Fernando Mantilla Peñalba
Entidad	Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales y de Telecomunicación. Universidad de Cantabria
<b>DATOS DEL AUTOR</b>	
Nombre	Daniel Díaz Ruiz
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	<a href="mailto:daniel.diazru@alumnos.unican.es">daniel.diazru@alumnos.unican.es</a>
<b>DATOS DEL PROMOTOR</b>	
Nombre	Director Luis Fernando Mantilla Peñalba
Entidad	Dpto. de Ingeniería Eléctrica y Energética
<b>EMPLAZAMIENTO GEOGRÁFICO</b>	
No procede	
<b>TRABAJOS PREVIOS</b>	
No procede	

# ÍNDICE GENERAL

MEMORIA .....	2
ANEXOS .....	47
PLANOS .....	63
PLIEGO DE CONDICIONES .....	67
MEDICIONES .....	105
PRESUPUESTO.....	107

# MEMORIA

---

# ÍNDICE DE MEMORIA

1.OBJETIVO .....	5
2.ALCANCE .....	6
3.ANTECEDENTES.....	7
4.CONSIDERACIONES .....	8
4.1 Características generales de la máquina .....	8
4.2 Método de Elementos Finitos <i>M.E.F.</i> .....	8
5.DOCUMENTOS .....	10
6.TERMINOLOGIA.....	11
7.DESARROLLO.....	12
7.1 Fundamentos teóricos de los generadores síncronos .....	12
7.1.1 Ley de Faraday-Henry .....	12
7.1.2 Ley de Ampere-Maxwell .....	13
7.1.3 Ley de Biot-Savart .....	13
7.1.4 Ley de Hopkinson.....	14
7.2 Cálculo clásico de una máquina síncrona de polos salientes.....	15
7.2.1 Dimensiones principales .....	15
7.2.2 Devanado del estátor.....	18
7.2.3 Profundidad del estátor .....	24
7.2.4 Entrehierro.....	25
7.2.5 Dimensiones del rotor.....	28
7.2.6 Diseño del devanado inductor .....	33
7.3 Diseño del generador en J_MAG Express .....	34
7.3.1 Dimensiones (Dimensions) .....	35
7.3.2 Materiales (Materials).....	37
7.3.3 Devanado del estátor (Winding).....	38
7.3.4 Devanado de campo (Field Coil) .....	39
7.3.5 Circuito de carga (Drive Circuit) .....	40
7.4 Simulación en J-MAG Designer .....	41

---

7.4.1 Mallado .....	42
7.4.2 Modelado del circuito eléctrico .....	42
7.4.3 Solver .....	43
7.4.4 Obtención de las gráficas .....	43
8.CONCLUSIONES.....	44

## **1 OBJETIVO**

Este trabajo fin de grado pretende diseñar un generador síncrono trifásico de polos salientes basado en los fundamentos del cálculo clásico de máquinas eléctricas, con el objetivo de construir un modelo computacional que sirva de referencia para la comprobación de estos mismos cálculos, y, además, sea la base geométrica para las simulaciones electromagnéticas que se llevarán a cabo posteriormente.

Todo esto permite una mejor comprensión del funcionamiento de un generador trifásico y, aportará una representación visual de la distribución de las variables electromagnéticas que actúan sobre la máquina.

En último lugar es importante destacar el componente didáctico que conlleva la redacción de un documento de carácter profesional como el presente, en el cual se respetan una serie de reglas y estructuras normalizadas.

## 2 ALCANCE

Para cumplir con los objetivos fijados, el trabajo se estructura en 3 partes bien diferenciadas: En primer lugar, en base a las características principales del generador se obtendrán sus dimensiones extraídas del cálculo clásico de máquinas eléctricas. En segundo lugar, estas medidas se usarán en la construcción de un modelo computacional y se obtendrán sus características de salida. Finalmente se llevarán a cabo distintas simulaciones electromagnéticas sobre la máquina utilizando para ello método numérico de elementos finitos.

En el desarrollo del trabajo se hará uso del entorno informático “J-MAG”. Este compendio de programas informáticos está especializado en el análisis de fenómenos electromagnéticos y sus efectos. En concreto se empleará el software “J-MAG Express” para la construcción del modelo computacional y la obtención de las características de salida, mientras que el programa “J-MAG Designer” será empleado en las simulaciones electromagnéticas.

Cabe destacar que los cálculos realizados abarcan el dimensionamiento del estátor, los bobinados del inducido, el núcleo del rotor, las extensiones polares y el devanado inductor. Es importante recalcar que se trata de un estudio electromagnético en régimen estacionario, por lo que quedan fuera de su alcance tanto el análisis mecánico, análisis térmico, y estudios de fenómenos transitorios entre otros.

### 3 ANTECEDENTES

Es a finales del siglo XIX cuando aparecen los primeros generadores trifásicos de potencia, sin embargo, no es hasta el siglo XX cuando se empieza a generalizar su uso debido a sus aplicaciones en la industria, y a que el sistema trifásico se estableció como el principal modo de transporte de energía eléctrica.

Un generador eléctrico genera energía eléctrica a partir de energía cinética aprovechándose de los fundamentos del electromagnetismo. Estas máquinas constan de dos partes: rotor y estator donde habitualmente el estator es la parte fija y el rotor la parte móvil.

El rotor consta de unos devanados por donde circula corriente continua, según la ley de Ampere esto generará un campo magnético, como el rotor está girando debido a una acción externa, estos campos magnéticos estarán en constante movimiento.

A su vez el estator también cuenta con bobinados los cuales estarán conectados a 3 fases distintas. Por estas espiras circula un flujo de campo que oscila en el tiempo debido al giro del rotor que hemos mencionado antes, finalmente, haciendo caso a la Ley de Faraday-Lenz, estas variaciones de flujo finalmente generarán la corriente eléctrica deseada.

Existen distintos tipos de generadores síncronos en función de sus características constructivas, los principales son los generadores de polos salientes y los generadores de polos lisos, aunque existen también las máquinas de imanes permanentes o de reluctancia variable.

En este caso se estudiará una máquina de polos salientes. Este tipo de máquinas es común en aplicaciones hidroeléctricas donde las velocidades de giro no adquieren valores muy elevados.

Este tipo de generadores presentan una eficiencia muy superior frente a otros tipos de tecnologías de generación eléctrica por lo que son clave en el entramado eléctrico actual.

---

## 4 CONSIDERACIONES PRELIMINARES

Dentro de las maquinas síncronas de polos salientes existen infinidad de modelos, por lo que se deben proponer una serie de características que definan la máquina para iniciar con el cálculo.

Además, se dará una breve explicación del método de elementos finitos ya que es el procedimiento en el que se fundamenta el software de J-MAG para obtener los distintos resultados.

### 4.1 Características generales de la máquina

Se propone un diseño de un generador síncrono trifásico de polos salientes orientado a un aprovechamiento hidroeléctrico con un acoplamiento a una turbina Francis cuya velocidad de giro se establece en 300 rpm. Esto conlleva que el generador conste de un rotor con 20 polos salientes rectangulares con barras de amortiguación. Construcción con refrigeración abierta por aire.

Este generador suministrará una potencia aparente de 1200kVA a una tensión nominal de 3300V. La onda de salida será una señal sinusoidal a una frecuencia de 50Hz. Los devanados del estátor estarán dispuestos en forma de estrella por lo que la tensión que se establece se corresponde con la tensión de línea.

### 4.2 Método de Elementos Finitos *M.E.F.*

El método de elementos finitos es un procedimiento de cálculo ampliamente extendido en ingeniería ya que es útil en diversos campos como puede ser el análisis de estructuras, problemas de transferencia de calor, o, como es el caso, cuestiones relacionadas con el electromagnetismo.

De forma resumida y simplificada lo que busca este método es dividir un problema complejo en partes más sencillas, para luego resolver los cálculos necesarios en cada uno de esos elementos y combinarlos creando un sistema de ecuaciones. Posteriormente se definirán unas condiciones de contorno propias de cada caso para definitivamente hallar la solución. Finalmente, en el postprocesado se pueden llevar a cabo distintos análisis de resultados o representaciones gráficas

Estos elementos finitos varían en función del problema en cantidad y forma adaptándose a los requisitos de cada caso. Es evidente que contra más se reduzca el tamaño de cada parte, existirá un mayor número de elementos sobre los que se deben llevar a cabo los cálculos, lo que repercutirá en una mayor carga computacional.

Como ya hemos mencionado anteriormente en este estudio se trabajará con J-MAG Designer, este programa se fundamenta en el método de elementos finitos. Es el propio programa el que determina cual es el mejor dominio para trabajar y realiza las divisiones que mejor se adaptan a nuestro caso, aunque también permite modificar el mallado manualmente por si fuera necesario. Posteriormente el software ofrece una serie de opciones de postprocesado entre las que destacan los gráficos de contorno o de líneas de flujo, ya que estos otorgan una descripción visual de magnitudes físicas que a nuestros ojos no se pueden apreciar como pueden ser las líneas de flujo o la distribución del campo magnético.

## 5 DOCUMENTOS DE REFERENCIA

AENOR. (2011). *UNE-ISO 197001: Criterios generales para la elaboración de informes y dictámenes periciales.*

AENOR. (2013). *UNE-ISO 690: Directrices para la redacción de referencias bibliográficas y de citas de recursos de información.*

AENOR. (2014). *UNE-ISO 157001: Criterios generales para la elaboración formal de los documentos que constituyen un proyecto técnico.*

Agarwal, R. K. (2014). *Principles of Electrical Machines Design.* S. K. Kataria & Sons.

J-MAG. (n.d.). *JMAG: Simulation Technology for Electromechanical Design.*

Mantilla Peñalba, L. F., & Rodríguez Pozueta, M. Á. (1991). *Fundamentos electromagnéticos de la Electrotecnia.* Santander: Servicio de Publicaciones, E.T.S. de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos.

Mittle, V. N., & Mittal, A. (2015). *Design of Electrical Machines.* Delhi: Standard Publishers Distributors.

## 6 TERMINOLOGÍA Y ABREVIATURAS

**H [A/m]:** Magnitud física se define como intensidad del campo magnético y representa la influencia que tiene una corriente externa sobre la creación del campo magnético, independientemente de la respuesta magnética que presente el material.

**B [T]:** Intensidad de flujo magnético, o inducción magnética. Nos indica cómo reacciona el material a la magnetización presente, dependerá de la intensidad de campo y de la permeabilidad relativa del material.

**$\Phi$  [Wb]:** Flujo magnético, se define como la cantidad de campo magnético que atraviesa un espacio determinado, tiene en cuenta el ángulo que forman las líneas de campo magnético con el vector que define la superficie.

**Corriente eléctrica estacionaria:** Se denomina así a las corrientes cuya densidad de carga es constante a lo largo de todo el conductor, entran dentro de esta categoría la corriente continua o las corrientes alternas de 50 y 60 Hz entre otras.

**Límite de estabilidad:** Establece la máxima potencia que puede suministrar el generador operando con normalidad, es decir, manteniéndose a velocidad de sincronismo. Este valor es inversamente proporcional a la reactancia síncrona.

**Regulación:** Capacidad o velocidad con la que un generador eléctrico se adapta a los cambios en la carga a la cual está conectado.

**Poder de sincronismo:** Facilidad con la que un generador opera en paralelo con la red eléctrica. La máquina debe ajustar su tensión y velocidad para luego adaptar su fase y frecuencia a los de la red.

**Amperio-vuelta [Av]:** Es la unidad de fuerza magnetomotriz del sistema de medida MKS, esta unidad está cayendo en desuso. Se define como la fuerza magnetomotriz generada por un amperio que circula por una espira situada en el vacío. Los amperio-vueltas se deben

entender como una unidad de medida no de forma literal ya que se usarán en zonas donde no existan espiras.

## 7 DESARROLLO DEL ESTUDIO

Como se ha expuesto anteriormente el trabajo se ha dividido en 3 partes distintas, para explicar cómo se ha desarrollado el estudio se mantendrá por tanto la misma estructura, pero primero, para lograr una mejor comprensión del estudio se explicarán los conceptos del electromagnetismo que mayor presencia tienen en el funcionamiento de un generador eléctrico.

### 7.1 Fundamentos teóricos de los generadores síncronos

Se desarrollan a continuación las leyes fundamentales del electromagnetismo.

#### 7.1.1 Ley de Faraday-Henry

Esta ley trata el fenómeno de la inducción electromagnética y establece que: Si un flujo magnético variable en el tiempo atraviesa un circuito cerrado, aparecerá en este una fuerza electromotriz proporcional a la velocidad con la que varía el flujo magnético. La fuerza electromotriz que aparece tratará de oponerse a la variación de flujo por lo que se tendrá en cuenta añadiendo un signo negativo a la expresión matemática quedando de la siguiente forma:

$$\varepsilon = -\frac{d\phi}{dt}$$

### 7.1.2 Ley de Ampere- Maxwell

La ley de Ampere establece una relación entre la corriente que circula por un conductor y el campo magnético que esta genera, sin embargo, en un principio solo se tenía en cuenta el caso estacionario, es Maxwell quien lo corrige y añade a la ley los efectos de la variación temporal.

Aplicando esta ley para el caso de un conductor infinito, se obtiene la expresión que se muestra a continuación.

$$\oint_L \vec{H} \cdot d\vec{l} = I_{enc}$$

Donde  $I_{enc}$  será el valor de la corriente que circula por el conductor.

Se puede relacionar entonces la intensidad de campo H con la inducción B que aparece sobre el material mediante la siguiente expresión:

$$\vec{B} = \mu_0 \mu_r \cdot \vec{H}$$

$\mu_0$  y  $\mu_r$  son las permeabilidades del vacío y relativa respectivamente.

### 7.1.3 Ley de Biot-Savart

Esta Ley permite calcular el valor del campo magnético creado por una corriente eléctrica estacionaria (I) a una distancia del conductor (r). Primero se expresará de forma diferencial, y aplicando superposición se podrá obtener el valor total del campo magnético.

$$d\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{Id\vec{l} \times \vec{r}}{r^2}$$

$$\vec{B} = \int d\vec{B}$$

Si al igual que se hizo para la Ley de Ampere, se generaliza para el caso de un conductor de longitud infinita el resultado que se obtiene es el siguiente:

---

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r}$$

#### 7.1.4 Ley de Hopkinson

Esta ley relaciona la fuerza magnetomotriz con la reluctancia y con el flujo magnético.

$$\mathcal{F} = \mathcal{R} \cdot \phi$$

$\mathcal{F}$ : Fuerza magnetomotriz (Av)

$\mathcal{R}$ : Reluctancia magnética (Av/Wb)

$\phi$ : Flujo magnético (Wb)

Esta ley se puede entender como una analogía de la ley de Ohm para el magnetismo donde la fuerza magnetomotriz equivale a la tensión, la reluctancia a la resistencia y el flujo magnético a la corriente.

Para un solenoide, se puede expresar la fuerza magnetomotriz como el producto del número de espiras por la corriente que circula a través de ellas.

$$\mathcal{F} = N \cdot I$$

En el sistema MKS se define la fuerza magnetomotriz como AT (*Ampere-Turns*) es decir, amperios por vuelta, lo que significa que un amperio que circula por una espira generaría un amperio- vuelta (Av). Un amperio que circula por 10 espiras generaría 10 Av, etc.

Una vez explicados los fenómenos electromagnéticos que se pueden observar dentro de un generador síncrono pasaremos a exponer detalladamente los cálculos que se han llevado a cabo durante el diseño de la máquina.

---

## 7.2 Cálculo clásico de una máquina síncrona de polos salientes

El cálculo de la máquina se estructura desde fuera hacia adentro, se empezará por las dimensiones principales, pasando por el cálculo del devanado inducido, dimensiones del estator, entrehierro, polos, núcleo del rotor y finalizado con el cálculo del devanado inductor.

### 7.2.1 Dimensiones principales

Con el objetivo de lograr una mayor limpieza y claridad en la memoria del trabajo se ha decidido colocar las tablas y figuras en los anexos.

Partiendo de la ecuación de salida se puede relacionar las características eléctricas de la máquina con la longitud y el diámetro interior del estátor.

*Ecuación 1*

$$S = K' \cdot D^2 L \cdot n_s$$

*Ecuación 2*

$$K' = 11 B_{av} q k_w \cdot 10^{-3}$$

$n_s$ : Velocidad de giro (r.p.s.)

$B_{av}$ : Densidad de flujo magnético media en el entrehierro (T)

$q$ : Carga eléctrica específica (A cond/m)

$k_w$ : Factor de bobinado.

Muchos de los valores que se usan a lo largo de todo el procedimiento de cálculo se recogen en tablas, o se toman haciendo caso a recomendaciones que aparecen en distintos documentos de referencia. La mayor parte de las veces estas relaciones entre magnitudes se obtienen basándose en datos empíricos o de la propia experiencia de los diseñadores.

Este es el caso de la densidad de flujo media y de la carga eléctrica.

---

### *Densidad de flujo media*

Se trata de uno de los valores más determinantes el cálculo de la máquina ya que se tendrá en cuenta en distintas ocasiones.

Haciendo caso a los datos que aparecen en la Tabla 7: Densidad de flujo magnético media se selecciona el siguiente valor para la inducción media en el entrehierro.

$$B_{av} = 0.588 T$$

Se debe tener en cuenta que un aumento de esta densidad de flujo tiene sus ventajas, pero acarrea también una serie de inconvenientes que se comentan a continuación.

#### *Ventajas:*

- Tamaño más reducido de la maquina
- Mayor límite de estabilidad
- Aumento del poder de sincronismo
- Reducción de costes

#### *Desventajas*

- Perdidas más altas en el hierro
- Aumento de la corriente transitoria de cortocircuito
- Reducción en la eficiencia
- Aumento de la temperatura

### *Carga eléctrica específica*

Al igual que con la densidad media de flujo, extraemos el valor de la carga eléctrica de la Tabla 8: Carga eléctrica específica

$$q = 30200 A \text{ cond}/m$$

Las ventajas que aparecen al aumentar la carga eléctrica son las mismas que para el aumento de la densidad de flujo, pero se añade alguna desventaja más.

---

- Aumento de las pérdidas de dispersión.
- Pérdida de capacidad de regulación

Con los valores escogidos se busca mantener un equilibrio entre las distintas características operativas como el límite de estabilidad, eficiencia, poder de sincronismo, corrientes de cortocircuito transitorias etc. Sin embargo, si se busca alguna aplicación concreta siempre se podrá variar ligeramente estos valores.

Conocidos los valores de  $B_{av}$  y de  $q$  ya se puede sustituir en las ecuaciones **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** y **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**. Se establece que el factor de bobinado  $k_w$  es de 0.955.

$$D^2L = 1.2865$$

Se pretende entonces hallar una relación entre diámetro y longitud para poder determinar cuánto valen por separado, para ello se calcula el paso polar ya que está asociada a la dimensión axial de la máquina.

$$\tau_p = \frac{\pi D}{p} = 0.3 \text{ m}$$

$\tau_p$ : Paso polar (m)

$p$ : número de polos

Se puede determinar entonces la longitud axial de la maquina sabiendo que este valor es 1.2 veces el paso polar. Una vez hecho se podrá calcular el diámetro interior del rotor.

$$\frac{L}{\tau_p} = 1.2$$

Tabla 1: Dimensiones principales

D	1.90 m
L	0.36 m

### 7.2.2 Devanado del estátor

Para determinar las dimensiones del estátor se debe conocer primero el espacio que ocupará el cableado. Este paso es importante ya que un diseño defectuoso del devanado puede incurrir en un flujo magnético deficiente y por tanto una inducción pobre, lo que reducirá la eficiencia del generador drásticamente.

#### Tipo de devanado

En este caso se va a optar por un devanado de doble capa como en la mayoría de los generadores de polos salientes. Este tipo de construcción se caracteriza por empaquetar dos conductores en la misma ranura, siendo uno de ellos la “ida” de una de las espiras y el otro la “vuelta” de otra espira diferente. Se puede ver mejor en la Figura 1.

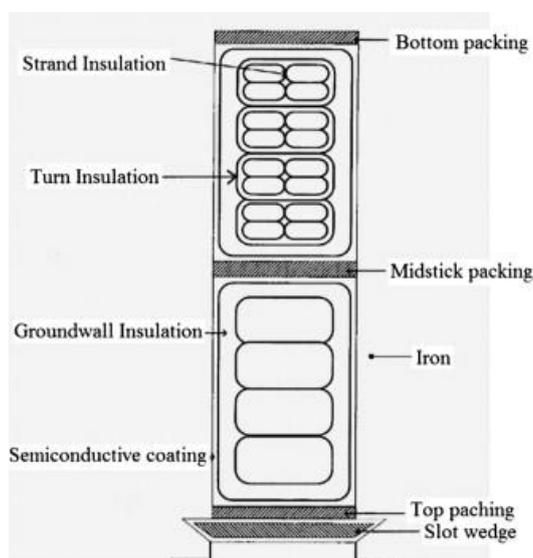


Figura 1: Esquema de una ranura del estátor. Fuente: ResearchGate High Power Density Technologies for Large Generators and Motors for Marine Applications with Focus on Electrical Insulation Challenges

Estas capas estarán formadas por varios conductores, que a su vez también están formados por filamentos más pequeños.

El devanado de doble capa ayudará también a generar una forma de onda menos distorsionada ya que amortigua el impacto de los armónicos de 5º, 7º y orden superior.

### *Numero de ranuras*

El número de ranuras por fase y polo se escoge en relación con el paso entre ranuras y la tensión de la máquina. También está limitado por la cantidad de corriente que puede pasar por cada ranura, y se establece en 1500A.

Se determina entonces que el número de ranuras por fase y polo es de 3, lo que resulta en 60 ranuras por fase, y un total de 180 ranuras en todo el estator.

Con estos datos pasamos a calcular el paso de ranura:

$$\tau_s = \frac{\pi D}{n_s} = 0.033 \text{ m}$$

### *Vueltas por fase*

Para el cálculo de las vueltas por fase primero se hará una estimación a partir de la ecuación de la tensión por fase, para a continuación recalcularlas en función de la intensidad que circula por cada ranura.

*Ecuación 3*

$$E_{ph} = 4.44 f \phi k_w T_{ph}$$

$E_{ph}$ = Tensión de fase (V)

$f$ = Frecuencia (Hz)

$\phi$ = Flujo magnético por polo (Wb)

$T_{ph}$ = Número de vueltas por fase

Lo primero es conocer el flujo por polo en el entrehierro a partir de la densidad de flujo magnético.

---

$$\phi = B_{av} \cdot \frac{\pi DL}{p} = 0.06 \text{ Wb}$$

La fuerza electromotriz generada en cada fase se toma como la tensión fase, la cual se puede calcular a partir de la tensión de línea:

$$E_{ph} = \frac{V_L}{\sqrt{3}} = 1905 \text{ V}$$

Conocidos estos datos y despejando de la Ecuación 3 sacamos las vueltas por fase:

$$T_{ph} = 143 \text{ vueltas}$$

Como he comentado antes este no es un valor definitivo, para calcular el valor real de vueltas por fase debemos determinar primero el número de conductores por ranura y fase, y calcular la corriente que circula por cada una de ellas.

La intensidad se calcula a partir de la expresión de la potencia aparente

$$S = \sqrt{3}V_L I_{ph} \rightarrow I_{ph} = 210 \text{ A}$$

El número de conductores por ranura se calcula una vez conocido el número de ranuras por fase (60):

$$n_{c/s} = \frac{T_{ph} \cdot 2}{n_{s/ph}} \approx 5 \text{ conductores}$$

$n_{s/ph}$  = Numero de ranuras por fase

A continuación, se calcula el número de conductores por fase para obtener el número real de vueltas por fase. No sin antes comprobar que no se supera el límite de 1500 A por ranura.

$$n_{c/ph} = 5 \cdot n_{s/ph} = 300$$

$$T_{ph} = \frac{300}{2} = 150 \text{ vueltas}$$

Comprobación de la corriente por ranura:

$$I_s = 5 \cdot I_{ph} = 1050 \text{ A} < 1500 \text{ A}$$

Finalmente ajustamos el valor del flujo magnético que se obtiene con el número de vueltas real a partir de la Ecuación 3

$$\phi = \frac{E_{ph}}{4.44 f k_w T_{ph}} = 0.06 \text{ Wb}$$

#### *Tamaño de conductor*

El tamaño de conductor es necesario ya que a la hora de crear el modelo de la máquina es necesario saber sus dimensiones o en su defecto la resistencia por fase.

Por tanto, se obliga a que la densidad de corriente por el conductor sea menor a 5 A/mm<sup>2</sup>, se toma este valor por seguridad, aunque depende del tipo de aislamiento escogido.

$$a_s = \frac{I_{ph}}{\delta_s} = 57 \text{ mm}^2$$

#### *Dimensiones de las ranuras*

Para calcular las dimensiones de las ranuras se tendrá en cuenta el tamaño de los separadores, aislamientos etc. Sin embargo, el cálculo de estos queda fuera del alcance del trabajo, por lo que se seguirán una serie de recomendaciones en función de los valores de las magnitudes eléctricas presentes en el estator.

Comenzaremos con el cálculo del ancho de ranura. Debemos establecer primero cual es la densidad de flujo magnético que queremos en diente del estator, como el flujo magnético es conocido podremos calcular entonces las dimensiones del diente.

Ajustando la densidad de campo magnético al máximo recomendable se establece un valor de 1.8 teslas.

Siguiendo la expresión de la densidad de flujo magnético:

*Ecuación 4*

$$B_t = \frac{\phi}{b_t \cdot L_i \cdot n_t}$$

---

$n_t$ : Número de dientes por arco de polo

$L_i$ : Longitud neta del estator

$b_t$ : Ancho de diente

La longitud neta del estator equivale a la longitud del estator menos el espacio ocupado por los conductos de ventilación. Diseñando el estator con 4 conductos de ventilación de 10 mm de espesor cada uno quedaría una longitud neta del estator:

$$L_i = 0.286 \text{ m}$$

El arco de polo se calcula a partir del paso de polo. Se establece que la longitud del arco es 0.7 veces el paso polar. Resultando un arco de polo:

$$\text{Arco de polo} = 0.2 \text{ m}$$

Teniendo en cuenta que el número de dientes total equivale al número de ranuras, con una sencilla división podremos saber cuál es el número de dientes correspondientes a cada polo:

$$n_t = \frac{n_s}{\text{Arco de polo}} \approx 6 \text{ dientes}$$

Con estos datos se puede ir a la Ecuación 4, despejar el ancho del diente y calcular:

$$b_t = 19.5 \text{ mm}$$

Una vez conocido el ancho del diente, y sabiendo cuanto mide el paso de ranura podemos calcular el valor del ancho de ranura con una sencilla resta.

$$b_s = \tau_s - b_t = 13.7 \text{ mm}$$

Como se puede observar en la Figura 1, el espacio de la ranura está ocupado por más elementos a parte del conductor, por tanto, se debe comprobar que ancho pueden tener los cables que se van a instalar.

Se ha mencionado ya con anterioridad que los aislamientos han sido seleccionados en base a una serie de recomendaciones, y son los siguientes:

---

Tabla 2: Medidas de la ranura del estátor

Aislamiento de los conductores	0.5 mm
Aislamiento de la ranura	2mm
Aislamiento entre capas	2 mm
Cuña	4 mm
Labio	1 mm
Tolerancia	1 mm

La cuña es un elemento que se usa para lograr que todos los elementos que hay en la ranura no se desplacen, básicamente se comporta como un tapón. La parte de los dientes del estator que sobresale por debajo de la cuña se denomina labio.

A lo ancho de la ranura se alojan el aislamiento de la ranura, el conductor, y su respectivo aislamiento. Se tomará en cuenta una tolerancia, esta es necesaria a la hora de construir el devanado ya que los conductores se encuentran bastante apretados, además los cables sufren dilataciones debidas al aumento de temperatura.

Por tanto, el espacio que nos quedaría para el conductor es de 7.7 mm

Respetando el área de la sección se proponen las siguientes medidas para un conductor rectangular.

$$a_s = 7.7 \times 7.4 \text{ mm}$$

Para el cálculo de la altura de la ranura se tendrá en cuenta el labio, la cuña, los 5 conductores con sus respectivos aislamientos, el aislamiento entre capas, y el separador. Al igual que antes mantendremos la misma tolerancia.

Posteriormente se verá como a la hora de introducir los datos para crear la geometría no se toman las mismas referencias.

Finalmente resulta que la altura de la ranura es:

$$h_s = 54 \text{ mm}$$

---

Normalmente la altura de la ranura se sitúa alrededor de 4 veces el ancho, en este caso tenemos una relación de 3.6 lo que es aceptable.

### *Resistencia de fase*

Para estimar la resistencia por fase primero se debe obtener la longitud de cada vuelta, debido al tipo de bobinado que se utiliza, el cual trasposiciones entre los conductores, lo que se hace es un cálculo de la longitud media aproximada usando la siguiente formula:

$$l_{mt} = 2L + 2.5\tau_p + 0.05 V_L + 0.15 = 1.775 \text{ m}$$

Para obtener la resistencia de fase se sustituye en la expresión que aparece a continuación:

$$R_{ph} = \frac{\rho l_{mt} T_{ph}}{a_s} = 0.1 \Omega$$

$\rho$  = Resistividad del cobre ( $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ ) a  $20^\circ\text{C}$

Tabla 3: Principales parámetros del devanado del estátor

$T_{ph}$	150 vueltas
$a_s$	57 mm <sup>2</sup>
$R_{ph}$	0.01 $\Omega$
$n_{c/s}$	5

### *7.2.3 Profundidad del estátor*

Una vez se han definido las dimensiones de la ranura se debe calcular cual es el diámetro exterior del estátor, o lo que es lo mismo, su profundidad.

Al igual que en los dientes, se comienza definiendo una densidad de campo magnético para esa zona. En este caso se toma un valor de densidad magnética de 1.2 T

Ecuación 5

$$B_c = \frac{\phi}{2 d_c \times L_i}$$

Se sabe que para el núcleo del estátor el flujo magnético es la mitad del que se tiene en el entrehierro. Por lo que ya podemos despejar de la Ecuación 5 la profundidad del estator.

$$d_c = 87 \text{ mm}$$

Resultando en un diámetro exterior de la máquina de aproximadamente 2.2 m.

Tabla 4: Principales medidas del estátor

Ancho de ranura ( $b_s$ )	13.7 mm
Alto de ranura ( $h_s$ )	54 mm
Diámetro exterior ( $D_o$ )	2.2 m

#### 7.2.4 Entrehierro

En este apartado se calculará la longitud del entrehierro. Pese a que en esta región de la máquina no hay ningún elemento constructivo, se trata de una de las partes más influyentes de la máquina ya que el campo magnético existente en esta zona se toma de referencia para el cálculo de las densidades de campo del resto de elementos del generador. Además, por este espacio pasa la mayor parte del flujo magnético que va hacia el devanado inducido.

Su cálculo pasa por conocer los amperio-vueltas en el entrehierro, y para esto es necesario determinar el valor de la relación de cortocircuito.

#### Relación de cortocircuito

La relación de cortocircuito ( $SCR$ ) se define como la corriente necesaria en el devanado inductor para inducir la corriente nominal en la salida. Este es uno de los valores mas

---

importantes a la hora de diseñar un generador síncrono. Se exponen las ventajas en función del valor de SCR escogido.

*Valores bajos de SCR:*

- Menores corrientes de cortocircuito
- Disminución del tamaño
- Menor coste de la máquina

*Valores altos de SCR*

- Aumento del límite de estabilidad
- Mejor regulación
- Mayor poder de sincronismo

Como en este estudio no está orientado a ningún objetivo en concreto el valor escogido para la relación de cortocircuito será un valor promedio para el tamaño del generador.

$$SCR = 1.2$$

*Amperios-vuelta en el entrehierro*

Primero se calculará la cantidad de amperios-vuelta en el estátor según la

$$AT_a = \frac{1.35 T_{ph} I_{ph} k_w}{P} = 4069 Av$$

*P= Pares de polos*

Una vez se han determinado los amperios-vuelta presentes en el estátor y conocida la relación de cortocircuito se puede pasar a calcular los amperio-vueltas para una situación donde no haya carga aplicada a la máquina.

$$AT_a = SCR \cdot AT_{fo} = 4870 Av$$

Por último, se determinan los amperio-vueltas en el entrehierro asumiendo que la caída de fuerza magnetomotriz que existe en esta zona está cerca del 75%.

$$AT_g = 3655 Av$$

### *Longitud del entrehierro*

Una vez se conocen la caída magnética en el entrehierro podemos determinar su longitud dada la siguiente ecuación:

$$AT_g = 0.796 B_g k_g l_g \cdot 10^6$$

$k_g =$  *Coficiente de entrehierro*

El coeficiente de entrehierro es un valor que se obtiene de dividir la longitud real del entrehierro entre la longitud efectiva del entrehierro, esta última es la distancia que recorre el flujo magnético para pasar del rotor al estátor y está relacionada con los efectos de dispersión. Para nuestro caso se toma un valor de 1.15 haciendo caso a las recomendaciones que se proponen para este tipo de máquinas.

El valor de la longitud del entrehierro queda determinado.

$$l_g = 4.75 \text{ mm}$$

Se debe aclarar que esta longitud de entrehierro se toma en el centro del polo, pero no es constante, la forma de la zapata del polo debe seguir la distribución senoidal que se muestra en la para que la forma de la onda generada mantenga una forma de senoide, ya que si no el resultado es una onda de forma rectangular.

*Ecuación 6*

$$l_g(x) = \frac{l_g}{\cos\left(\frac{\pi x}{\tau_p}\right)}$$

La distancia  $x$  es el arco cuyo origen es el centro de la zapata y su final el punto donde se quiere calcular la longitud del entrehierro.

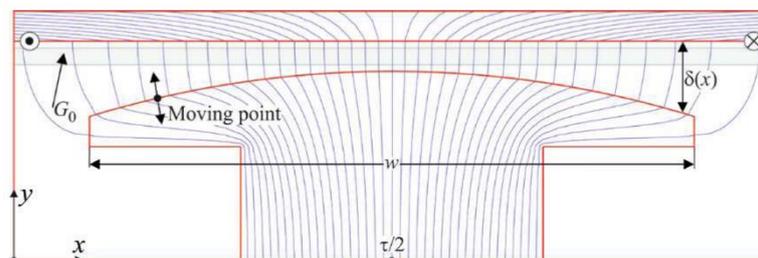


Figura 2: Perfil de la zapata del polo. Fuente: MDPI: Synthesis of Application-Optimized Air Gap Field Distributions in Synchronous Machines

### 7.2.5 Dimensiones del rotor

En la mayoría de los casos el rotor es una pieza la cual va acoplada al eje, este tiene unos espacios en la periferia donde se acoplan unas extensiones denominadas polos, este acople suele ser en forma de cola de milano. Se usa esta geometría por razones mecánicas ya que se adapta mejor las fuerzas centrífugas.

A su vez las extensiones polares están constituidas por el propio cuerpo que puede tener forma rectangular o cilíndrica, y por las zapatas polares, cuya forma se ha explicado en el apartado anterior.

#### Dimensiones del polo

La sección del polo se obtiene a partir de la densidad de flujo magnético, de la misma forma que se han calculado las medidas del estator.

Para el caso actual se toma un valor de inducción de 1.5 T en el cuerpo del polo, además conocemos que el valor del flujo magnético que fluye por el tronco del polo es un 10% mayor que el que presenta el entrehierro.

$$A_p = \frac{\phi_p}{B_p} = 0.044 \text{ m}^2$$

Para este diseño de rotor se opta por el uso de polos rectangulares por lo que debemos calcular la longitud de sus lados.

La longitud del polo es similar a la longitud del estátor. Además, en el caso que se está estudiando los polos no son piezas macizas si no que son un apilamiento de láminas de acero por lo que se introducirá un factor de apilamiento de 0.92. Hay que mencionar que existen casos donde el rotor y los polos son la misma pieza y su construcción es de acero macizo.

$$L_p = 0.325 \text{ m}$$

Una vez conocida la sección y la longitud el cálculo de la anchura es trivial.

$$b_p = 0.135 \text{ m}$$

Por último, falta por determinar la altura del polo. Esta medida está condicionada por el devanado inductor. El cálculo toma un carácter regresivo. Conocemos la cantidad de amperio-vueltas que necesitamos en el estátor para alcanzar los valores requeridos, por tanto, tomando como referencia datos empíricos se puede determinar que es necesario generar un 80% mas de amperio vueltas en el polo. A partir de estos amperio-vueltas podemos estimar el tamaño del devanado inductor y con ello la altura necesaria para almacenar en los polos las espiras y sus respectivos aislamientos.

$$AT_p = 1.8 AT_a = 7310 \text{ Av}$$

La altura del devanado viene dada en función del paso de polo y los valores correspondientes aparecen en la Tabla 9: Altura del devanado inductor

$$d_f = 0.04 \text{ m}$$

También se deben escoger los valores del factor de espaciado del cobre ( $S_f = 0.7$ ) y de las perdidas por unidad de área debidas a la superficie de refrigeración ( $p_f = 740 \text{ W/mm}^2$ )

Con estos datos se pasa a calcular la altura del devanado:

---

$$h_f = \frac{AT}{10^4 \sqrt{d_f S_f p_f}} = 0.16 \text{ m}$$

Finalmente obtendremos la altura del polo añadiendo el espacio necesario para el aislamiento, que siguiendo las recomendaciones determinamos que es el 12% del paso polar.

$$h_p = 0.25 \text{ m}$$

### *Núcleo del rotor*

El núcleo del polo en este tipo de máquinas sirve como cierre de las líneas de flujo, y se determina que la densidad de campo magnético en esta zona es de 1.1 Teslas. También se sabe que el flujo magnético en esta zona es la mitad que el flujo magnético medio.

Con estos datos se puede conocer la sección del núcleo del rotor y con ello la profundidad ya que la longitud es la misma que la del estator.

$$d_y = 0.09 \text{ m}$$

### *Zapata polar*

El tamaño de esta parte del polo depende de las barras de amortiguación, y de la longitud del entrehierro.

El devanado amortiguador está compuesto por una serie de barras que se colocan en las zapatas polares, su función es reducir el impacto de las perturbaciones debidas a las variaciones de la carga, pérdidas de sincronismo etc. Solo entra en acción en los periodos transitorios mejorando así la respuesta dinámica del generador.

Estas barras que se colocan en los polos están conectadas entre sí gracias a un anillo que las cortocircuita.

La fuerza magnetomotriz que se desarrolla en el interior de la maquina está formada por dos componentes.

---

La componente principal generada por el devanado inductor, que rota en el sentido de giro de la máquina. La segunda componente se denomina componente de reacción y su magnitud es la mitad que la componente principal, además gira en sentido contrario al del rotor. El devanado amortiguador debe compensar esta componente de la fuerza magnetomotriz y su diseño parte de este concepto.

La fuerza magnetomotriz del devanado se calcula de la siguiente manera:

$$AT_{dw} = \frac{4\sqrt{2}I_{ph} T_{ph} k_w}{2\pi p} = 2708 Av$$

Este valor se puede igualar a la cantidad de corriente que circula por una de las barras del bobinado. Por lo que solo quedaría por conocer la densidad de corriente para poder calcular la sección de las barras.

Como ya se ha comentado en otros apartados escogemos un valor directamente de 4 A/mm<sup>2</sup>

Por lo que la sección de la barra resulta:

$$A_d = 322 \text{ mm}^2$$

Esta área es bastante grande por lo que se debe distribuirá en varias partes, este número de partes determina la cantidad de barras necesarias. Para ello es necesario saber que distancia puede haber entre los elementos del devanado. Este dato se calcula dividiendo el arco de la zapata del polo entre el 80% del paso de ranura resultando el siguiente número de barras.

$$N_d = 8 \text{ barras}$$

Con una sencilla división se obtiene la sección de cada una de las barras y su respectivo diámetro.

$$d_d = 7.15 \text{ mm}$$

Por último, quedaría por determinar el área transversal del anillo de cortocircuito el cual se define como el 90% del área total de las barras.

$$a_r = 290 \text{ mm}^2$$

---

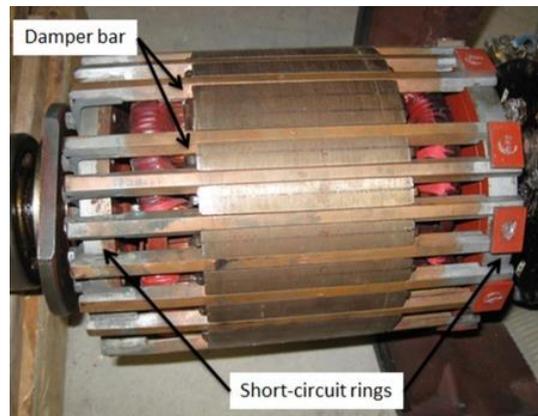


Figura 3: Barras de amortiguamiento y anillo de cortocircuito. Fuente: ResearchGate.Simulation Methods for the Transient Analysis of Synchronous Alternators

Una vez definido el devanado de amortiguamiento se puede pasar a determinar la altura de la zapata polar. Se toma como medida de referencia el punto medio ya que como se ha expuesto con anterioridad, la superficie de la zapata se ve reducida debido al aumento del entrehierro a medida que nos acercamos al extremo.

$$h_{ps} = 14.3 \text{ mm}$$

Tabla 5: Principales medidas del rotor y del entrehierro

Longitud de entrehierro (mm)	4.75
Diámetro del rotor (mm)	1.89
Ancho de polo (mm)	135
Altura del polo (mm)	160
Profundidad del núcleo del polo (mm)	92
Numero de barras	8
Diámetro de las barras (mm)	7.16
Paso de barra (mm)	2.65
Altura de la zapata polar (mm)	13.25

### 1.1.1 Diseño del devanado inductor

Este devanado también denominado devanado del rotor o devanado de campo es el encargado de crear el campo magnético necesario para inducir las corrientes deseadas en el devanado del estátor. Por el circulara corriente continua.

Dependiendo del tamaño de la maquina se tendrá que escoger un valor de tensión mayor o menor. En este caso en concreto se ha determinado un valor de tensión excitadora de 110V, pero el devanado se diseña para una tensión un poco menor (sobre el 80% de la tensión excitadora)

Esto implica que en cada bobina se sufre una caída de tensión de aproximadamente 5V

Es necesario conocer la longitud de cada vuelta, como ya conocemos las dimensiones del polo solo habría que determinar el espesor del aislamiento.

Para el cálculo de la sección de los conductores se necesita saber el valor de los amperio-vueltas que se tienen que generar, este valor ya se conoce de otros apartados anteriores. A continuación, se muestra la expresión con la que se obtiene el área transversal.

$$a_f = \frac{\rho l_{mtf} \cdot AT_f}{V_c} = 35 \text{ mm}^2$$

$l_{mtf}$  = Longitud media de las espiras del devanado de campo

$V_c$  = Tensión en cada espira

Asumiendo una densidad de corriente de 3.5 A/mm<sup>2</sup> podemos determinar la corriente que atraviesa el devanado, y al conocer los amperio-vueltas necesarios, se podrá determinar también el número de vueltas necesarias.

$$I_f = 121 \text{ A}$$

$$T_f = 61 \text{ vueltas}$$

No confundir el subíndice  $f$  referido al devanado de campo (*field coil*) con el de fase cuyo subíndice es  $ph$  (phase) ya que se trata de corriente continua monofásica donde solo existe una única fase.

Para finalizar con el cálculo del devanado de campo es necesario determinar cuál es su resistencia, para lo cual usaremos la misma expresión que en ocasiones anteriores.

$$R_f = \frac{\rho l_{mf} T_f}{a_f} = 0.04 \Omega$$

Tabla 6: Parámetros más importantes del devanado inductor

$V_f$ (V)	110
$a_f$ (mm <sup>2</sup> )	35
$T_f$	61
$R_f$ (Ω)	0.04

Con esto se puede dar por finalizado toda la parte del cálculo clásico de la máquina.

## 1.2 Diseño del generador en J\_MAG Express

Para realizar el modelo geométrico se va a utilizar la versión 15.1 del software informático J-MAG Express. A continuación, se detalla el proceso de diseño al completo indicando los detalles que se deben tener en cuenta a la hora de utilizar el programa. Posteriormente se mostrarán algunos de los resultados obtenidos, para finalmente exportar el modelo a J-MAG Designer.

Lo primero que debemos hacer al abrir el programa es indicar el tipo de máquina que se desea diseñar. En nuestro caso se trata de un generador síncrono por lo que la opción a escoger es “Wound-Field AC Synchronous Machine”.

Una vez seleccionados el tipo de estátor y el modelo de rotor que se quiere usar se puede empezar a introducir las medidas calculadas previamente.

### *1.2.1 Dimensiones (Dimensions)*

La primera pestaña que parece es la de dimensiones, aquí podemos editar la geometría de toda la máquina. Inicialmente se muestra una plantilla de un generador tetrapolar la cual debemos ir modificando.

Las primeras medidas que se deben incluir son el diámetro exterior de la máquina, su longitud axial, y la longitud del entrehierro. Además, se da la opción de definir el entrehierro como libre, o fijo. Un entrehierro fijo implicaría que la longitud de entrehierro es constante lo cual no interesa ya que el entrehierro que hemos diseñado es variable.

### *Estator (Stator)*

El modelo de estator escogido es el so\_011 este nos permite editar los parámetros que aparecen en la Figura 6, se ha escogido esta opción ya que de todos los modelos posibles es el que más se asemeja al diseño de rotor planteado durante el cálculo clásico. Las ranuras son rectangulares y el tipo de diente se asemeja al de diseño.

Se van introduciendo los datos en el orden que los solicita el programa, se ha de tener cuidado ya que en bastantes ocasiones se darán colisiones, sin embargo, al avanzar estas se corrigen quedando el modelo correctamente definido.

En este modelo de estator concretamente, cuando se solicita la altura de la ranura se refiere a la altura de las dos capas. Por tanto, definiremos la altura de la ranura como el espacio que ocupan las dos capas con sus 5 conductores y los aislamientos, más el separador, dejando fuera la cuña y el labio que se editarán posteriormente.

A la hora de indicar el tamaño de la cuña y el labio en este modelo se debe hacer conjuntamente, ya que se solicita la altura del diente, por lo que se introduce 5mm en el apartado dando a entender que es la altura ocupada por ambos elementos.

La apertura de la ranura se puede editar sin embargo como en los cálculos no se ha contemplado esta opción haremos caso a la recomendación que propone el programa. Otra

---

opción posible es determinar que la apertura de la ranura es el mismo ancho de ranura, pero esta construcción es menos realista.

Para los radios de las esquinas tanto del diente como de la ranura se actúa de la misma manera, sin embargo, esta vez se toma la recomendación de radio más pequeño buscando un valor de radio nulo.

Este tipo de decisiones se deben tomar con cuidado ya que los radios nulos crean puntos que en un análisis matemático pueden dar lugar a indeterminaciones. Sin embargo, el método de elementos finitos resuelve esta cuestión gracias a la geometría del mallado, la cual se puede hacer más precisa en este tipo de puntos si se cree necesario pero nunca llegando a la indeterminación ya que para eso el elemento debería ser infinitamente pequeño.

### *Rotor*

Siguiendo el mismo procedimiento que en el estátor se van introduciendo las medidas que nos solicita el J-MAG Express.

En primer lugar, se opta por avanzar directamente al número de polos y diámetro del rotor, y más tarde se editarán las barras amortiguadoras, esto es cuestión de evitar colisiones posteriores.

Para determinar el radio de la superficie del polo se ha seguido el siguiente procedimiento:

Como se ha explicado anteriormente esta superficie sigue una forma senoidal por lo tanto no podremos definir un radio. Para solucionar este problema se abre el editor geométrico y se crea una curva definida por la función de la Ecuación 6. Posteriormente se crea una circunferencia que se ajuste lo máximo posible a la función curva que se acaba de crear. El radio de esta circunferencia es el que se debe introducir en el JMAG-Express como "Pole Surface radius". El valor logrado con la aproximación es de 400mm.

El diámetro del eje queda fuera del alcance de este estudio ya que su dimensionamiento responde a razones mecánicas. Se escogerá su tamaño en función de la profundidad del rotor

---

EL ancho de la zapata se define como el espacio ocupado por el bobinado, sus aislamientos y el ancho de polo, el resultado de esta medida es de 235mm.

Para la altura de la zapata se introduce 40mm ya que es el resultado de sumar la altura necesaria sin barras de amortiguamiento mas el espacio necesario para alojar las mismas

Una vez se han introducido estos datos pasamos a definir las dimensiones del bobinado del rotor. Se debe tener cuidado ya que a lo que previamente se ha denominado altura el programa lo nombra profundidad, debe quedar claro que se refiere a la dimensión radial de la máquina.

Los aislamientos se toman en función de las recomendaciones previas y se establecen como 2.35 y 5mm.

Finalmente se introducen las medidas que se habían obviado, como el diámetro de las barras, la separación entre ellas etc. La apertura del espacio donde se sitúan las barras es de 0 mm ya que cuando se calculan se supone que están encerradas dentro del polo

#### *Anillo de cortocircuito (End Ring)*

Para definir el anillo de cortocircuito se debe elegir primero su forma, en el cálculo de la máquina no se ha detallado su forma ni sus medidas, simplemente se ha determinado su área. Se opta entonces por un área rectangular cuyos lados equivalgan al área transversal calculado. El anillo queda definido con un área rectangular de 15 x 20 mm

#### *1.2.2 Materiales (Materials)*

En esta pestaña se pueden definir los materiales de cada parte de la máquina.

Para los bobinados del estátor y del rotor se escoge el cobre como material y se determina su conductividad en siemens (la misma que se ha usado en el cálculo). (Figura 8)

Se puede cambiar el material por aluminio, o incluso definir uno propio, pero este no es el caso.

Tanto para el estátor como para el rotor se escogerá un acero laminado. Como se comentó en la sección 7.2.5 hay distintas formas de construir el rotor sin embargo en este caso se ha optado por hacerlo de láminas de acero 50A1000.

Una de las ventajas de usar este material es que ya está cargado en la base de datos de J-MAG por lo que el programa dispone de todas sus características. Incluso su curva B-H la cual se muestra en la Figura 7.

Al igual que con el material de los conductores, se puede elegir entre una gran variedad de distintos aceros, escoger aceros macizos, ferritas, o incluso cargar manualmente las propiedades de un material concreto que no esté disponible en la base de datos.

La elección de materiales es fundamental ya que estos tienen un gran impacto en el grado de magnetización que se puede alcanzar en la máquina.

### *1.2.3 Devanado del estátor (Winding)*

Durante este apartado se puede definir como es el devanado que queremos instalar el nuestro generador. (Figura 9)

En primer lugar, se determina el tipo de conexión. Se opta por el tipo de conexión más común para los generadores síncronos trifásicos la cual es una conexión en estrella con 3 fases, conectando todas las espiras en serie para tener la misma corriente en cada una.

A continuación, se elige el método con el que se va a definir el tipo de cableado. Las opciones para elegir son las siguientes:

- Vueltas/ Tamaño de conductor
- Vueltas/ Factor de llenado
- Tamaño de conductor/ Factor de llenado

- Vueltas/ Resistencia de fase

Como en ningún momento se ha determinado cual es el factor de llenado podemos descartar las opciones 2 y 3.

En primer lugar, es tentador usar la primera opción ya que disponemos de las secciones del cable, sin embargo, el programa da una explicación bastante pobre de a que se refiere con cada aislamiento, lo que ocasiona algunos problemas que podemos evitar usando la resistencia de fase para definir las propiedades del devanado.

También se debe indicar que el bobinado se realiza en 2 capas.

Al introducir el número de vueltas por fase hay que tener extremado cuidado, ya que el programa entiende como número de vueltas por fase el doble de lo que aparece indicado en diseño, esto queda advertido en el manual de J-MAG.

Por último, se indica al programa que el devanado sea automático con un paso de bobina equivalente al número de ranuras por polo, que en este caso es 9. De escoger la opción manual se deberá ir anidando fase por fase cada bobina con la ranura que se desee.

En la Figura 9 se puede observar cómo se reparten las espiras del devanado inducido entre las ranuras del estátor

#### *1.2.4 Devanado de campo (Field Coil)*

El circuito del rotor consiste en un circuito de 20 bobinas por las que circula corriente continua las cuales se disponen en serie.

Se indica entonces que el número de bobinas en paralelo es 1 al igual que en el apartado anterior. Esto implica que están todas asociadas en serie.

Las opciones que nos ofrece J-MAG Express para introducir los parámetros del bobinado son las mismas que en el apartado del estátor y se tomará por tanto la misma decisión, por lo que se definen el número de vueltas y su resistencia.

---

Se pueden ver las opciones de edición en la Figura 10.

### 1.2.5 Circuito de carga (*Drive circuit*)

Una vez se han determinado todas las características constructivas de la máquina se debe definir las características eléctricas y el tipo de carga a la que se va a conectar. (Figura 11)

Se debe atender a las siguientes indicaciones:

1. La tensión media se refiere a valor eficaz de tensión de línea en bornes de la máquina, es decir, el valor nominal de tensión del generador (3300V)
2. La máxima corriente de campo no se refiere a la máxima corriente admisible, si no al límite que se quiere tomar a la hora de obtener valores de tensión.
3. La tensión de salida del estator se debe introducir como valor de línea (1905V)

Estos valores servirán como referencia al programa para la construcción de las curvas características de salida del generador:

- Curva de vacío, OCC (*Open Circuit Curve*)
- Recta de entrehierro, AGL (*Air Gap Line*)
- Curva de cortocircuito, SCC (*Short-Circuit Curve*)
- Curva de factor de potencia nulo, ZPF (*Zero Power Factor*)

Con el diseño final del generador que se muestra en la Figura 4 se da por finalizada la parte de diseño en J-MAG Express.

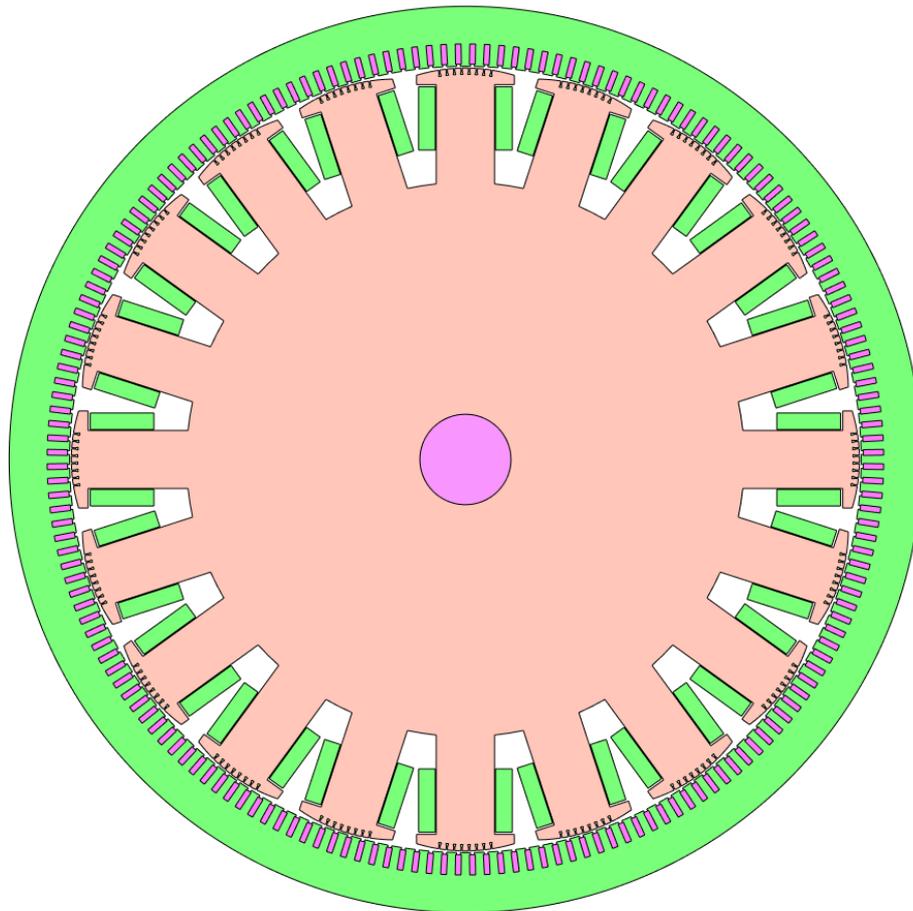


Figura 4: Diseño final del generador. Fuente: Elaboración propia sobre el programa J-MAG Express

### 1.3 Simulación en J-MAG Designer

Durante todo el estudio se han mencionado distintos valores de densidades de campo, flujos magnéticos, etc. Sin embargo, estas magnitudes, aparte de ser poco visuales, no aparecen en el resultado final de J-MAG Express, ya que este se limita simplemente a devolver los valores operativos de la máquina sin entrar al detalle de todos los cálculos que se realizan en segundo plano, o sin mostrar toda la información que se ha obtenido.

Es por esto por lo que se quiere completar el estudio de la máquina síncrona con una simulación en J-MAG Designer.

---

Una vez se ha obtenido la geometría en J-MAG Express exportaremos el modelo a J-MAG Designer, al ser programas del mismo entorno informático este paso es bastante fácil y no aparece ningún problema de compatibilidad.

### *1.3.1 Mallado*

Se debe mencionar que cabe la opción de realizar la misma geometría en el editor geométrico del propio J-MAG, o incluso realizar el modelo en cualquier programa CAD y después exportarlo.

Antes de ejecutar los cálculos magnéticos debemos comprobar una serie de elementos.

Lo primero será corroborar que el mallado es el correcto. El diseño del mallado es algo bastante complicado y no se entrará al detalle, pero si que se debe comentar.

En este caso se ha optado por un tamaño de los elementos finitos variable, aumentando la densidad de elementos en las zonas más determinantes de la máquina (polos, zapatas, entrehierro). Se puede observar la geometría del mallado en la Figura 13.

### *1.3.2 Modelado del circuito eléctrico*

Se debe crear un circuito eléctrico simulando la conexión real del generador, las fases de este circuito con sus fuentes se asocian con los elementos de la máquina. Este circuito está compuesto por 3 partes.

- El devanado inductor: Modela con una fuente, una inductancia y la puesta a tierra.
- El devanado inducido, para el cual se crean tres fases (U, V, W) con sus respectivas bobinas, las cuales se conectan a una carga trifásica.
- El circuito de las barras amortiguadoras el cual se modela mediante unos conductores y sus resistencias correspondientes, también con su puesta a tierra.

Por último, se comprueban las restricciones geométricas y condiciones de contorno, y se pasa a la configuración del solver.

### *1.3.3 Solver*

El modelo sobre el que se realiza la simulación es un modelo en 2 dimensiones, y se procede de tal forma para reducir la carga computacional, ya que un generador síncrono se comporta de forma similar a lo largo de toda su longitud axial.

Para facilitar la tarea computacional se debe exigir al programa que aproveche todos los recursos que ofrece el soporte informático, ya que por defecto solo emplea 2 de los 8 núcleos de los que dispone el ordenador.

Para ello acudimos a la pestaña “Parallel computing settings” y establecemos una computación paralela de grado 8

A la hora de ejecutar se aplicará el coeficiente de aceleración de 1.2. La tolerancia de convergencia será auto escalable en cada paso comenzando en 0.001 con un máximo de iteraciones no lineales aceptables de 20.

Se puede simplificar el cálculo haciendo un análisis magnético de un sector de la máquina ya que existe una simetría radial. A su vez si se desean conocer los efectos axiales dentro del generador podemos optar por un análisis en 3 dimensiones.

### *1.3.4 Obtención de las gráficas*

Una vez finalizados los cálculos se quiere ver cuáles son los resultados, la forma más visual y cómoda es en forma de gráfico.

J-MAG ofrece distintas posibilidades entre las que están los gráficos de contorno, gráficos de líneas de flujo, y gráficos vectoriales.

---

Para crear estas gráficas debemos buscar el apartado gráfico (Graphs) y seleccionar el tipo de representación que se quiere.

Con los gráficos de contorno (Figura 15) se pueden visualizar:

- Densidad de flujo magnético
- Intensidad del campo magnético
- Magnetización
- Perdidas por efecto Joule
- Perdidas en el hierro

Con los gráficos vectoriales (Figura 16) podemos representar la densidad de flujo magnético, y finalmente, J-MAG Designer ofrece también la opción de representar las líneas de flujo magnético. (Figura 17)

Se muestran los resultados en el apartado 6 RESULTADOS J-MAG DESIGNER

Una vez obtenidos estos gráficos podemos dar por completado el diseño del generador síncrono.

## **2 CONCLUSIONES**

Una vez completado todo el diseño del generador se comentan los resultados obtenidos.

En el apartado 5 DIMENSIONES FINALES DE LA MAQUINA se adjunta un resumen de todas las dimensiones de la máquina, así como sus características principales, curvas características etc.

A continuación, se muestran las características de salida de la máquina:

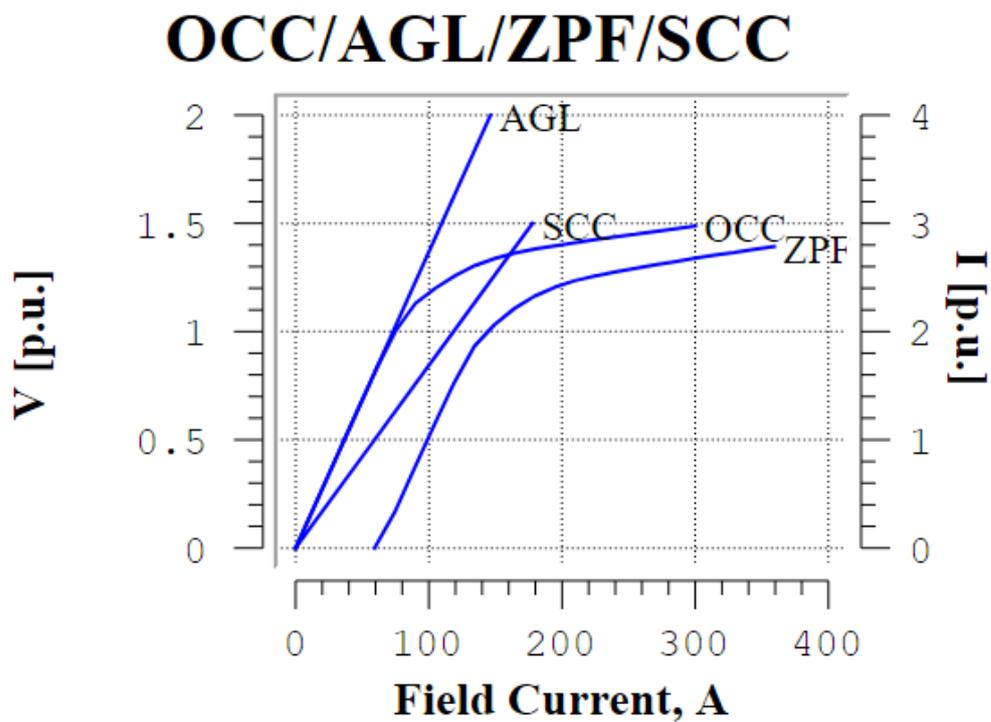


Figura 5: Curvas características de la máquina.

Estas curvas dan una idea de cómo es el funcionamiento de la máquina. Se puede ver que el resultado obtenido es satisfactorio ya que se asemejan en gran proporción a las curvas de un generador real.

La primera comprobación que se realiza es la de la tensión de salida. La cual debe tener un valor de 1 p.u. para una corriente de campo calculada.

Haciendo caso a los cálculos para una excitación cercana a los 100A la máquina genera en bordes una tensión un poco superior a la nominal, lo cual es aceptable.

Otra de las pruebas que se pueden llevar a cabo es la de la corriente de cortocircuito, la cual debe tener un valor de 1 p.u. para un valor de corriente nominal.

En este caso observamos que el valor obtenido es también mayor que el esperado. Esto tiene sentido ya que, como se ha visto previamente, la tensión también ha aumentado respecto al valor que se había estimado.

Finalmente se comprobará si el valor de la relación de cortocircuito es el que se había supuesto como 1.1.

Para ello debemos comparar los valores de la corriente de campo para los cuales se obtiene una tensión de salida y una corriente de cortocircuito de 1 p.u.

Si llevamos a cabo el cálculo se observa que los valores son prácticamente iguales, lo que está dentro de las estimaciones.

Podemos concluir entonces que el diseño del generador no es completamente exacto, pero se ajusta en gran parte a los resultados esperados, esto se debe a que durante el cálculo clásico se deben hacer una gran cantidad de suposiciones. Además, a la hora de construir la geometría no todos los valores han sido tomados en cuenta en el cálculo clásico y se ha tenido que dar cuenta de distintos datos propuestos por el programa.

Teniendo como base los resultados el estudio se puede repetir con el propósito de mejorar los resultados. En una primera aproximación los resultados obtenidos se alejaban bastante del modelo propuesto por lo que se iteró sobre el mismo proceso 4 veces hasta obtener el modelo final que se muestra en este estudio.

# ANEXOS

# ÍNDICE DE ANEXOS

1.TABLAS .....	49
2.PESTAÑAS J-MAG EXPRESS .....	50
3.CURVA B-H .....	55
4.ESTUDIO EN J-MAG DESIGNER.....	56
5.DIMENSIONES FINALES DE LA MAQUINA .....	59
6.RESULTADOS J-MAG DESIGNER .....	60

## 1 TABLAS

Tabla 7: Densidad de flujo magnético media

S (kVA)	100	200	500	1000	5000	10 000	20 000
$B_{av}$ (T)	0.52	0.54	0.56	0.58	0.61	0.63	0.65

Tabla 8: Carga eléctrica específica

S (kVA)	100	200	500	1000	5000	10 000	20 000
q (A cond/m)	20 000	23 000	26 000	29 000	34 000	37 000	40 000

Tabla 9: Altura del devanado inductor

Pole pitch (m)	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5
$d_f$ (m)	0.03	0.036	0.04	0.045	0.05

## 2 PESTAÑAS J-MAG EXPRESS

A continuación se muestran las diferentes secciones que son editables en el software de J-MAG Express.

Parameter		Value
Model_Def		
Unit		mm
all		
OUTD: Outer Diameter		2190
GAP: Gap Length		4.16
Gap Type		Free
HEIGHT: Stack Height		350
stator : so_011		<a href="#">Modify...</a>
SLOTS: Number of Slots		180
DS1: Stator Outside Diameter		2190
DS2: Stator Bore Diameter		1900
AngSlot: Angle of Slot		0
DSS: Depth of Stator Slot		54
WSSB: Width of Stator Slot-bottom		14
WSSO: Width of Stator Slot-opening		9
HSTT: Height of Stator Tooth-tang		5
AngSTT: Angle of Stator Tooth-tang		0
FRSSB: Fillet Radius at Stator Slot-bottom		0
FRSST: Fillet Radius at Stator Slot-top		0
wf_rotor : rws_002		<a href="#">Modify...</a>
BARPITCH: Bar Pitch		2.6
NBARS: Number of Bars		8
POLES: Number of Poles		20
RD: Rotor diameter		1891.68
RRPF: Rotor pole surface radius of curvature		400
RShaft: Shaft diameter		218.612
WPS: Width of pole-shoe		235
HPS: Height of pole-shoe		40
WCF: Width of coil-form section		140
DCF: Depth of coil-form section		240
WFCS: Width of field coil-side		40
HFCS: Height of field coil-side		153
dWCS: Field insulation spacer on WFCS		2.36
dHCS: Field insulation spacer on HFCS		5.3
BarDia: Diameter of one damper bar		8.74
RBInset: Inset of bar pitch-circle from rotor ...		12.8
WRSO: Width of rotor slot-opening		2.92
End Ring		
Section Setting		Same
Section Type		Rectangle
CEH: Height		15
CEW: Width		20
CEP: Offset		0
CES: Effective Section Area(%)		100

Figura 6: Pestaña de dimensiones en J-MAG Express. Fuente: Elaboración propia sobre el programa J-MAG Express

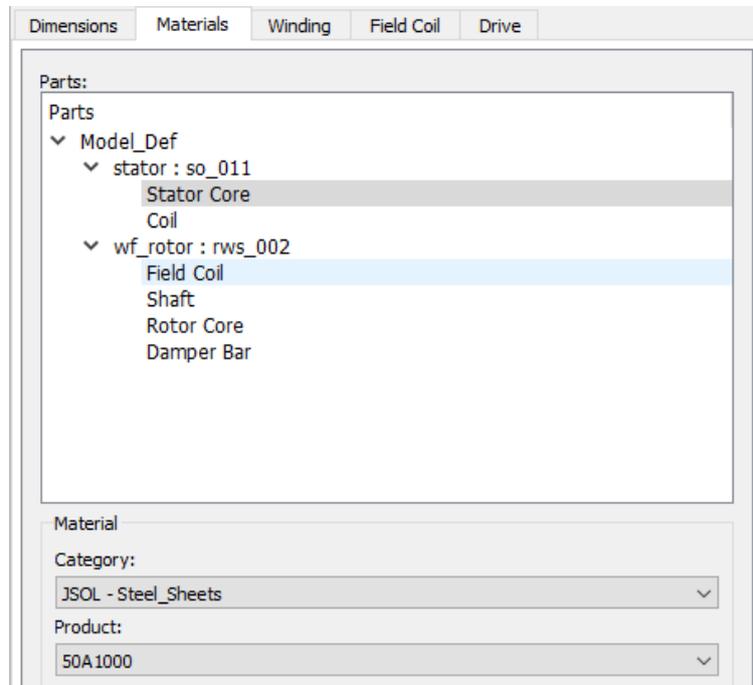


Figura 7: Pestaña de edición de materiales en J-MAG Express. Fuente: Elaboración propia sobre el programa J-MAG Express

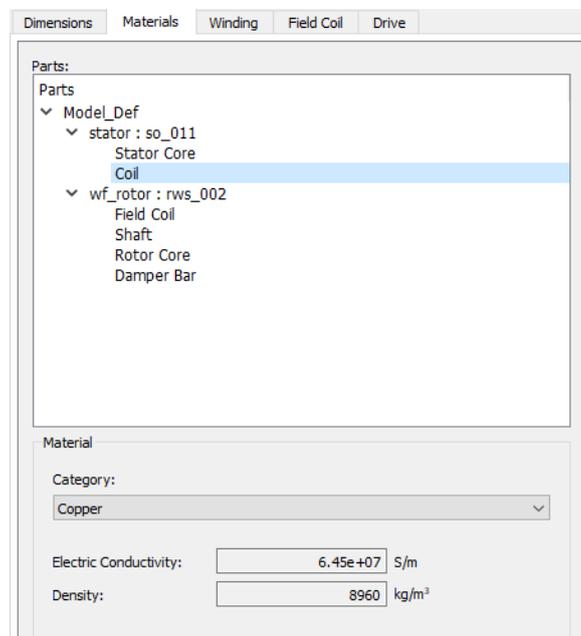


Figura 8: Elección de materiales para los devanados. Fuente: Elaboración propia sobre el programa J-MAG Express

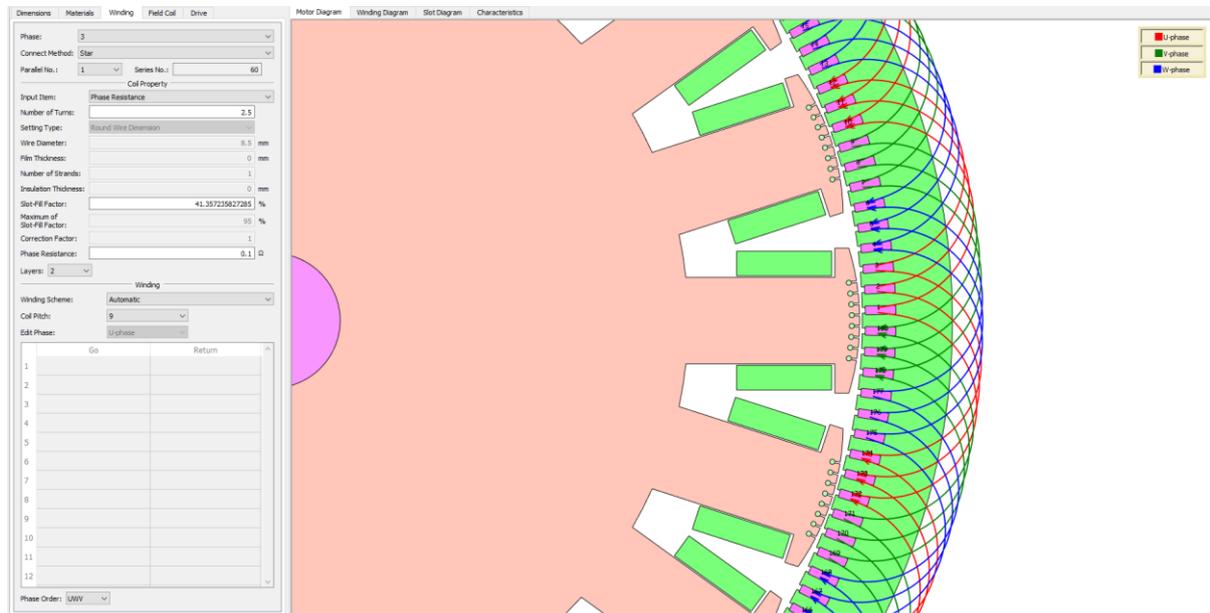


Figura 9: Pestaña de edición del devanado del rotor y disposición del bobinado. Fuente: Elaboración propia sobre el programa J-MAG Express

Dimensions	Materials	Winding	Field Coil	Drive
Parallel No.:	1	Series No.:	20	
Coil Property				
Input Item:	Phase Resistance			
Number of Turns:	61			
Setting Type:	Round Wire Dimension			
Wire Diameter:	8.4118 mm			
Film Thickness:	0 mm			
Number of Strands:	1			
Insulation Thickness:	10 mm			
Slot-Fill Factor:	75 %			
Maximum of Slot-Fill Factor:	75 %			
Correction Factor:	1			
Phase Resistance:	0.04 $\Omega$			

Figura 10: Definición del devanado inductor. Fuente: Elaboración propia sobre el programa J-MAG Express

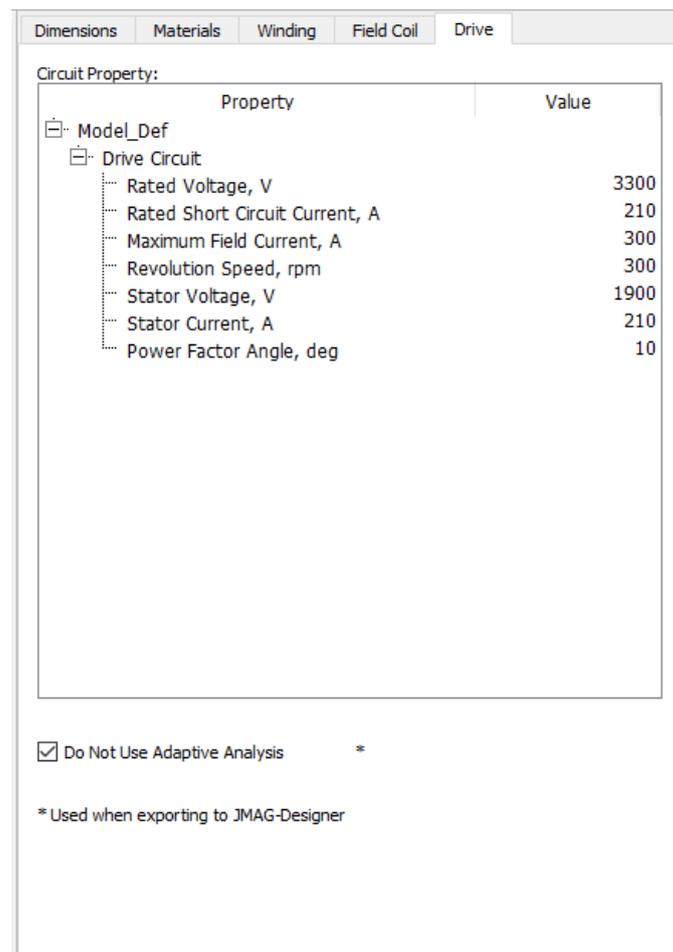


Figura 11: Características eléctricas del generador y de la carga conectada. Fuente: Elaboración propia sobre el programa J-MAG Express.

### 3 CURVA B-H

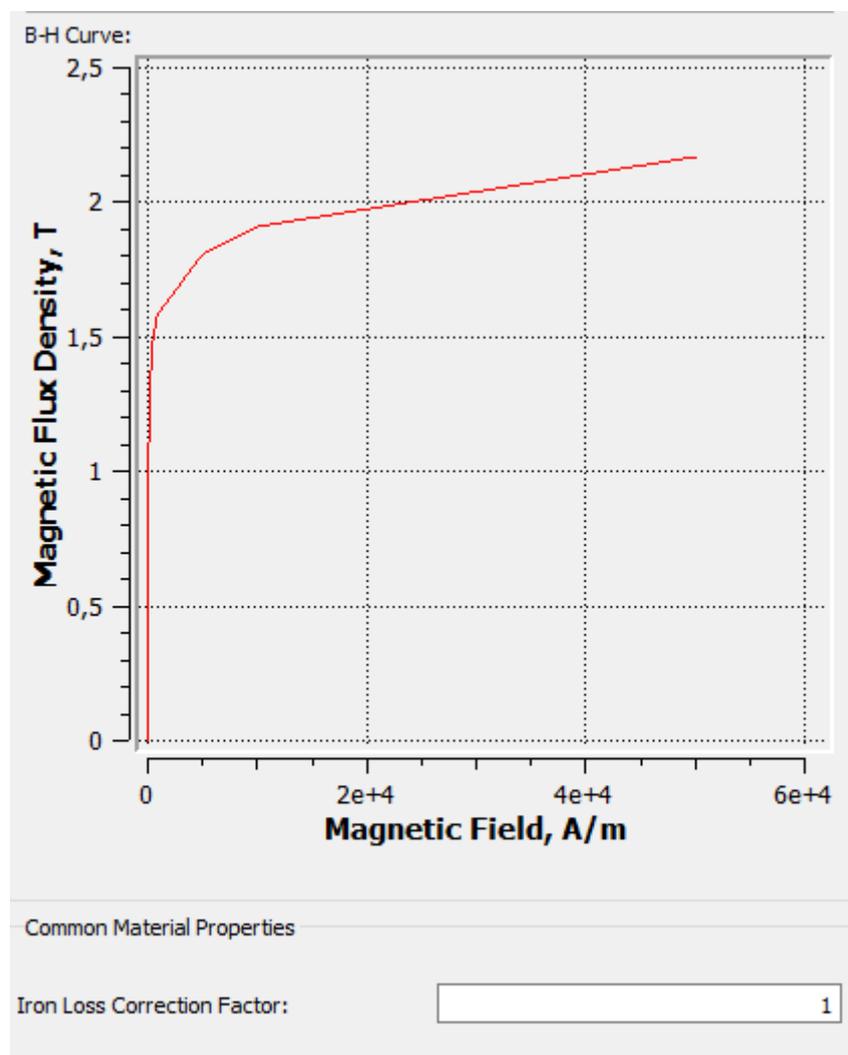


Figura 12: Curva B-H del acero laminado 50A1000. Fuente: Elaboración propia sobre el programa J-MAG Express

## 4 ESTUDIO EN J-MAG DESIGNER

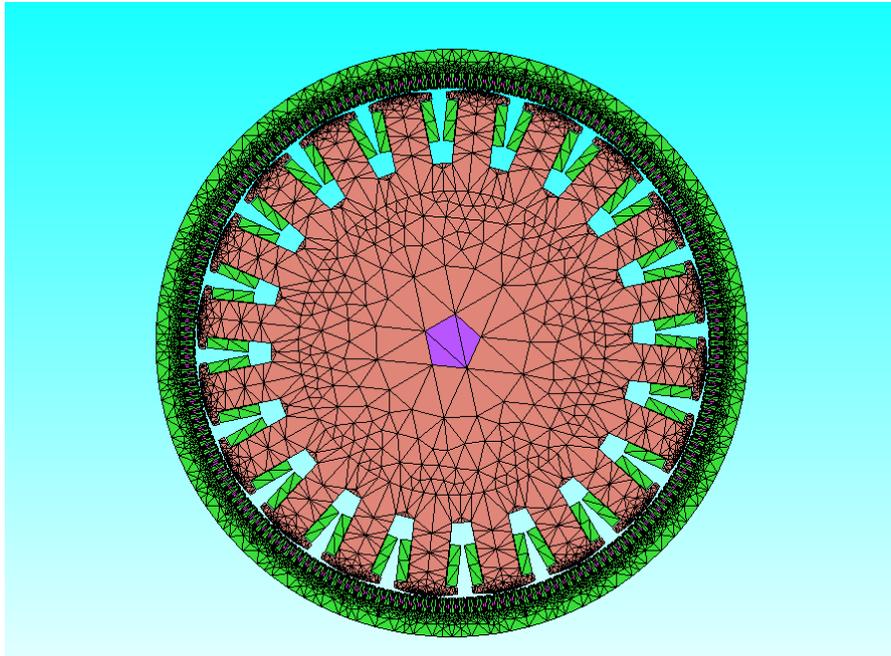


Figura 13: Geometría del mallado. Fuente: Elaboración propia sobre el programa J-MAG Designer

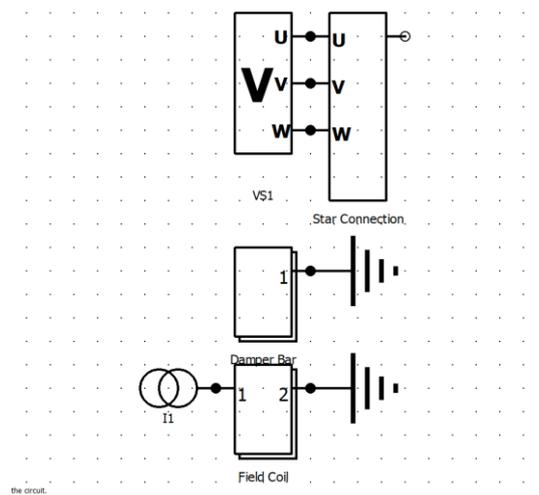


Figura 14: Modelización del circuito del generador en J-MAG Designer. Fuente: Elaboración propia sobre el programa J-MAG Designer

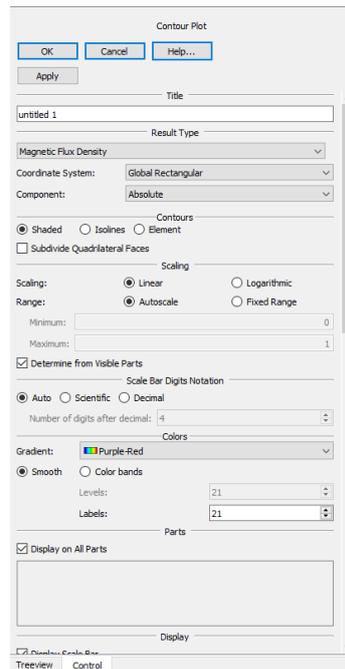


Figura 15: Pestaña de edición para los gráficos de contorno. Fuente: Elaboración propia sobre el programa J-MAG Designer

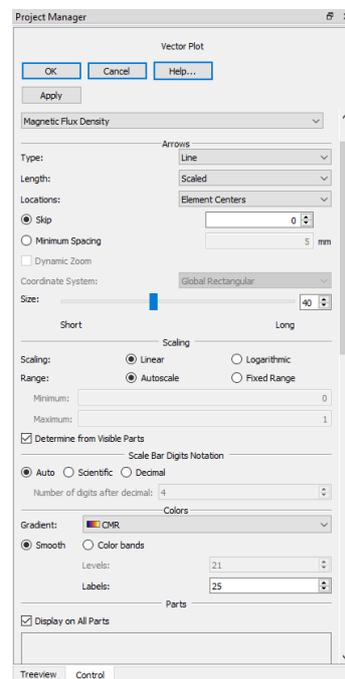


Figura 16: Pestaña de edición para los gráficos vectoriales. Fuente: Elaboración propia sobre el programa J-MAG Designer

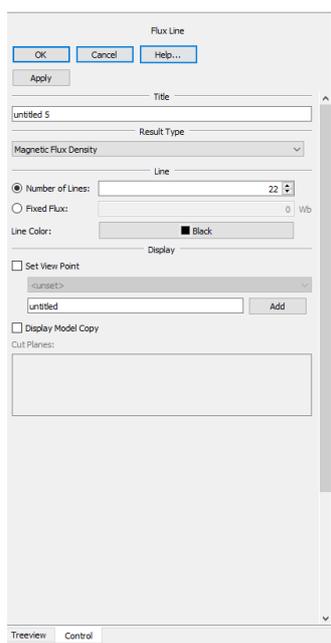


Figura 17: Pestaña de edición para los diagramas de líneas de flujo. Fuente: Elaboración propia sobre el programa J-MAG Designer

## 5 DIMENSIONES FINALES DE LA MAQUINA

Machine Constant		Value	Dimension	Mass Property
Field Current	IF A	310	Over Diameter, mm	2190
	IFNL	74.8	Gap Length, mm	416
	IFG	73.13	Stack Height, mm	350
	IFGR	1.262	Number of Slots	180
Equivalent Circuit Parameters	IFSI	59.27	Stator Outside Diameter, mm	2190
	Xstator	0.7924	Stator Bore Diameter, mm	1960
	Xmutat	0.8105	Angle of Slot, deg	0
	Gamma	28.74	Depth of Stator Slot, mm	54
	Eg	22.70	Width of Stator Slot-bottom, mm	14
	Xd	4.479	Width of Stator Slot-opening, mm	5
Circuit Characteristics	AOI	3.371	Height of Stator Tooth-tang, mm	9
	OCC	1.488	Angle of Stator Tooth-tang, deg	0
	SCC		Filler Radius at Stator Slot-bottom, mm	0
	ZPF	1.338	Filler Radius at Stator Slot-top, mm	0
Winding	Phase Number	3	Bar Pitch	2.6
	Connection Type	Star Connection	Number of Bars	3
	Series Number	60	Number of Poles	24
	Parallel Number	1	Rotor diameter, mm	220
	Number of Turns	2.3	Rotor pole surface radius of shaft diameter, mm	1891.68
	Series Type	Plane Resistance	Shaft diameter, mm	400
	Series-III Factor, %	41.36	Width of pole-shoe, mm	218.67
	Slot Area, mm <sup>2</sup>	688	Height of pole-shoe, mm	235
	Phase Resistance, ohm	141.9	Width of coil-form section, mm	140
	Winding	Auto Winding	Depth of coil-form section, mm	240
	Number of Layers	2	Width of field coil-side, mm	133
	Coil Pitch	9	Height of field coil-side, mm	153
Coil Current Density (@1A), A/mm <sup>2</sup>	0.01762	Field insulation spacer on WFCs, mm	2.16	
Series Number	20	Field insulation spacer on HFCS, mm	3.3	
Parallel Number	1	Diameter of one damper bar, mm	6.74	
Number of Turns	61	Inner of bar notch-circle from rotor surface, mm	17.8	
Setting Type	Plane Resistance	Width of rotor slot-opening, mm	2.92	
Slot-Fill Factor, %	75	Section Type	Trapezoid	
Conductor Area, mm <sup>2</sup>	4590	Height	10	
Phase Resistance, ohm	0.64	Upper Width	10	
Coil Current Density (@1A), A/mm <sup>2</sup>	0.01329	Lower Width	10	
		Offset	0	
		Effective Section Area	100	
		Resistance, ohm	0	
Drive	Rated Voltage, V	3310	Total Weight, kg	9291
	Rated Short Circuit Current, A	210	Total Volume, mm <sup>3</sup>	1.166e+09
	Maximum Field Current, A	3100	Stator Core - Mass, kg	2198
	Revolution Speed, rpm	3100	Stator Core - Volume, mm <sup>3</sup>	2.8e+08
	Stator Voltage, V	1960	Coil - Mass, kg	319.3
	Stator Current, A	210	Coil - Volume, mm <sup>3</sup>	3.564e+07
	Power Factor Angle, deg	10	Part Weight(s) (01)	2517
			Field Coil - Mass, kg	767.7
			Field Coil - Volume, mm <sup>3</sup>	8.568e+07
			Rotor Core - Mass, kg	9997
		Rotor Core - Volume, mm <sup>3</sup>	7.64e+08	
		Damper Bar - Mass, kg	9.068	
		Damper Bar - Volume, mm <sup>3</sup>	3.34e+06	
		Field Coil, kg m <sup>2</sup>	529.4	
		Rotor Core, kg m <sup>2</sup>	2356	
		Damper Bar, kg m <sup>2</sup>	7.874	
		Total, kg m <sup>2</sup>	2893	
Materials	Stator Core	ISOL - Steel Sheets	5641000	830
	Coil	Copper		9960
	Rotor Core	ISOL - Steel Sheets	5641000	830
	Damper Bar	Aluminium		2699
	Common Material Properties	Iron Loss Correction Factor		1
		Density, kg/m <sup>3</sup>		
		Category		
		Density, kg/m <sup>3</sup>		
		Category		
		Density, kg/m <sup>3</sup>		

Figura 18: Resumen de las dimensiones y características principales del generador. Fuente: Elaboración propia sobre el programa J-MAG Express

## 6 RESULTADOS J-MAG DESIGNER

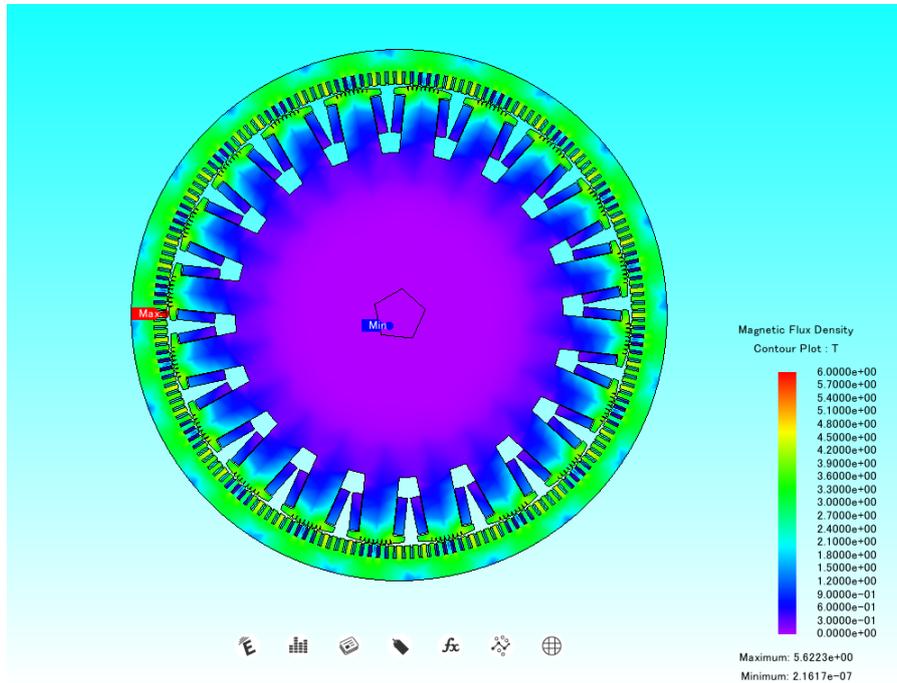


Figura 19: Densidad de flujo magnético. Fuente: Elaboración propia en J-MAG Designer

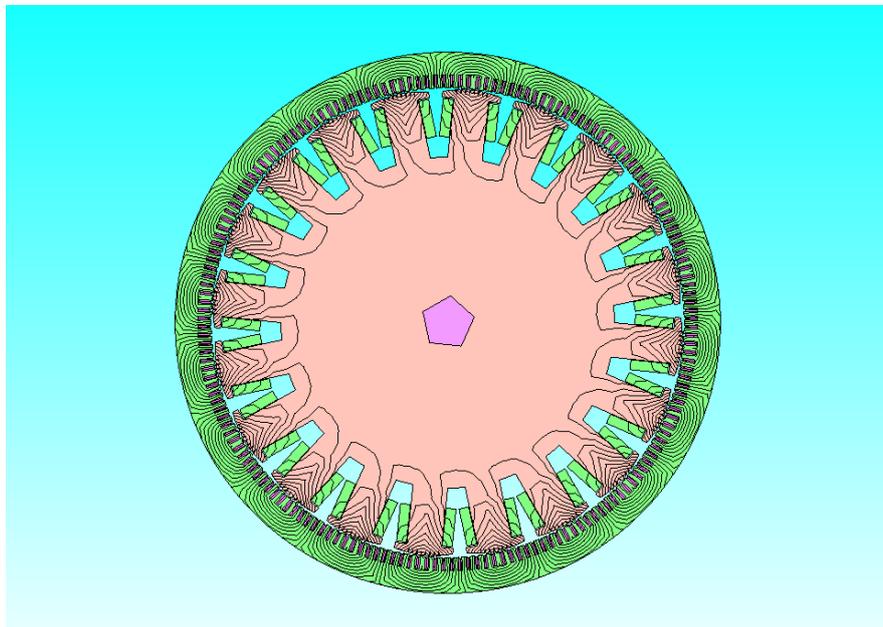


Figura 20: Líneas de campo magnético. Fuente: Elaboración propia en J-MAG Designer

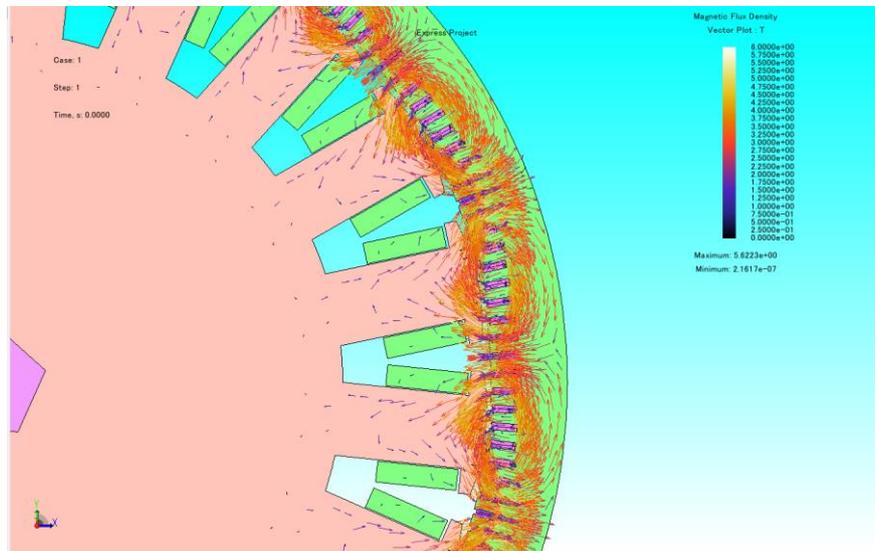


Figura 21: Diagrama vectorial de la densidad de flujo magnético. Fuente: Elaboración propia en J-MAG Designer

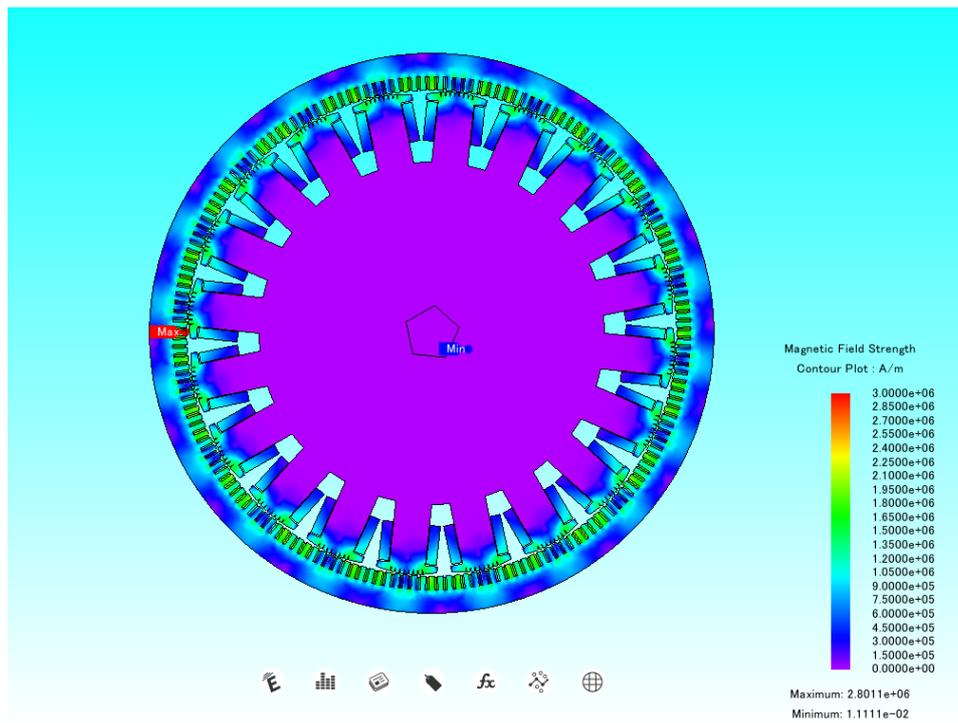


Figura 22: Intensidad del campo magnético. Fuente: Elaboración propia en J-MAG Designer

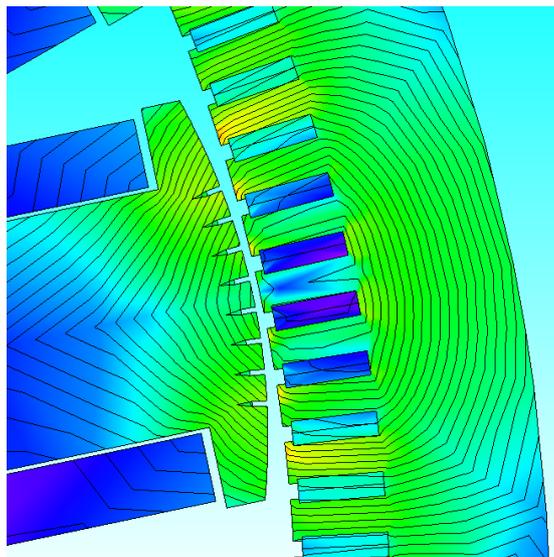


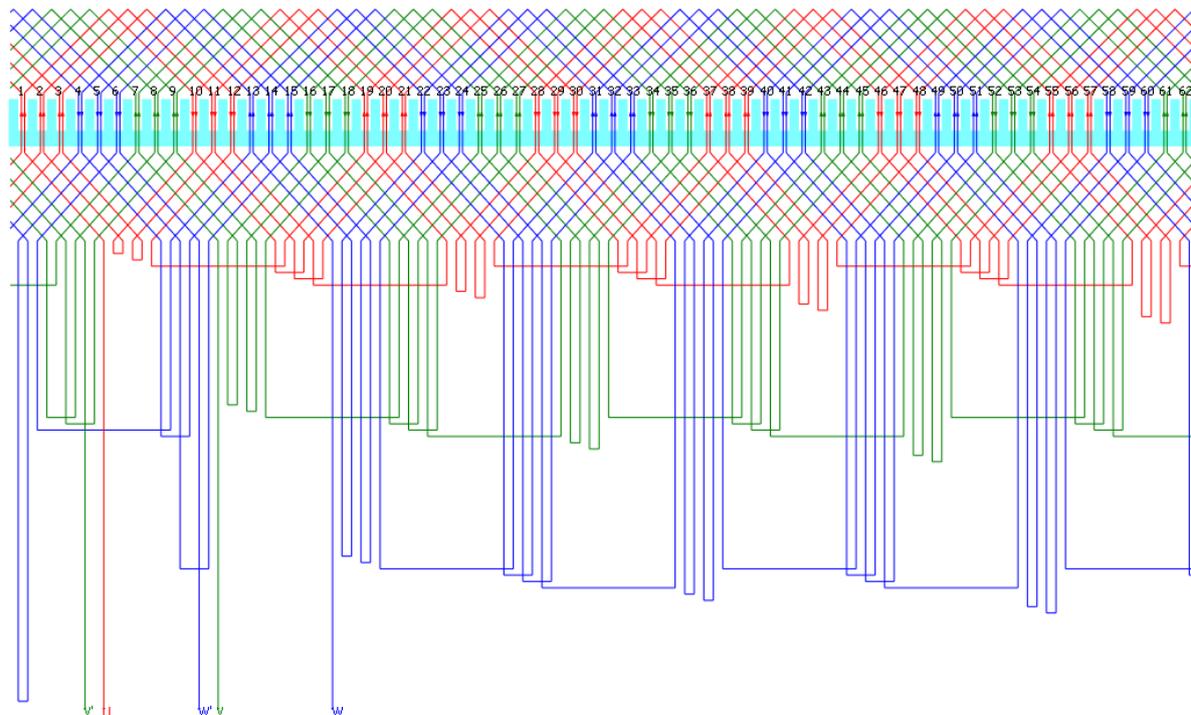
Figura 23: Detalle de la zapata de los polos. Fuente: Elaboración propia en J-MAG Designer

# PLANOS

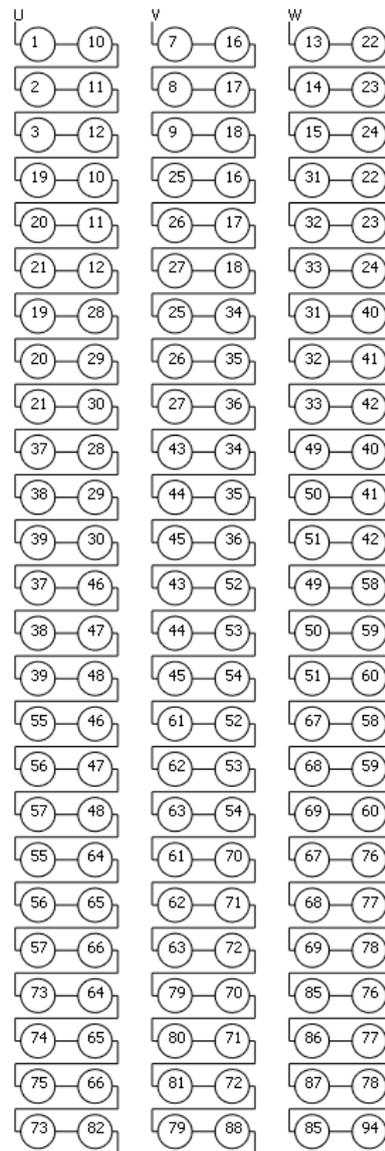
# ÍNDICE DE PLANOS

1.ESQUEMA DE CONEXION DEL BOBINADO DEL ESTATOR .....	65
2.ESQUEMA DE CONEXION DE LAS ESPIRAS DEL ESTATOR .....	66

## 1 ESQUEMA DE CONEXION DEL BOBINADO DEL ESTATOR



## 2 ESQUEMA DE CONEXION DE LAS ESPIRAS DEL ESTATOR



# PLIEGO DE CONDICIONES

---

# ÍNDICE DE PLIEGO DE CONDICIONES

1.GENERALIDADES .....	69
2.NORMATIVA LEGAL GENERAL.....	69
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. ....	69
3.NORMATIVA LEGAL UNIVERSITARIA.....	70
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. ....	70
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 .....	71
3.3. Memoria para la solicitud de verificación del Grado Universitario en Ingeniería en Tecnologías Industriales de la Universidad de Cantabria .....	71
4.NORMATIVA ADMINISTRATIVA UNIVERSITARIA .....	75
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) .....	75
4.2. Guía Docente G733 de la asignatura Trabajo Fin de Grado.....	80
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).....	84
5.NORMAS TÉCNICAS FORMALES DEL DOCUMENTO .....	92
5.1 Norma de Informes Periciales UNE 197001.....	94
5.2. Norma de Proyectos Técnicos UNE 157001.....	98
5.3. Norma sobre Información y documentación, de directrices para la redacción de referencias bibliográficas y de citas de recursos de información.....	104

## 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 xxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxx.

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 integran 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, ECTS-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-Al menos en una convocatoria anterior a la que se realice la defensa”, “Presentación de la memoria-Al 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 ETSIlyT 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 ETSIIyT solicita otro impreso para el seguimiento de sus egresados. Los impresos administrativos necesarios pueden obtenerse en la web de la ETSIIyT 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 los 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 maten 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 partidaalzada 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

Se ha decidido excluir el documento de mediciones de este trabajo. Se cree poco conveniente incluirlo dado que su objetivo es acompañar al presupuesto en la construcción material de un proyecto.

# PRESUPUESTO

Este trabajo no pretende una construcción real del diseño por distintos motivos, por lo que no se considera oportuno incluir un presupuesto el cual está orientado a la ejecución material de un proyecto.

# 1 IDENTIFICACIÓN FINAL

<b>ASEGURAMIENTO DE LA INTEGRIDAD DEL TRABAJO FIN DE GRADO</b>	
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 ( <a href="https://web.unican.es/buc">https://web.unican.es/buc</a> )
<b>PRESENTACIÓN Y DEFENSA DEL TRABAJO FIN DE GRADO</b>	
Lugar	Sala: Vestíbulo Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales y de Telecomunicación (ETSIIIT). Universidad de Cantabria (UC)
Fecha	14 de Julio de 2023
Tribunales académicos	Tribunal 1:  Presidente: Jesús Setién Marquínez  Vocales: Jose Luis Crespo Fidalgo, M <sup>º</sup> José Rivero  Martínez  Suplente: José Ramón Ibañez del Río

Tribunal 2:

Presidente: Francisco Javier Azcondo Sánchez

Vocales: Javier Torres Ruiz, Sara Pérez Carabaza

Suplente: Laura Bravo Sánchez

**FIRMA DEL AUTOR Y FECHA**



Santander a día 4 de julio de 2023