
MEMORIA DE PROYECTO DE INNOVACIÓN DOCENTE

NOMBRE DEL PROYECTO: “Metodología para el diseño completo de un motor eléctrico”.

CENTRO: Tecnun – Escuela de Ingenieros

DIRECTOR DEL PROYECTO: Dr. Ibón Elósegui

PROFESORES PARTICIPANTES: Dr. Miguel Martinez Iturralde

1. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO DE INNOVACIÓN SOLICITADO

Tal y como se describía en la memoria de Solicitud del Proyecto de Innovación Docente, se buscaba suplir «la dificultad que tienen los alumnos para conocer los “pasos” a dar para llevar a cabo el diseño completo de un motor: desde la definición correcta de las prestaciones requeridas por el motor, las restricciones del diseño, el diseño preliminar del motor, las simulaciones por elementos finitos a realizar, hasta la definición final de los planos de fabricación».

Para solventar esta carencia, el objetivo del proyecto era que «Al final del semestre se espera que los alumnos conozcan y experimenten de primera mano los pasos que todo departamento de I+D da en la actualidad para llevar a cabo el diseño completo de un motor eléctrico». Para lo cual se proponían tres objetivos:

1. Conocer la información necesaria (tanto por parte del cliente como de la aplicación) para dar comienzo el proceso de diseño de un motor eléctrico
2. Conocer las limitaciones que como fabricante “tengo” para fabricar motores y que son necesarias para orientar correctamente el diseño del motor.
3. Conocer el uso de la herramienta de cálculo por elementos finitos de Maxwell para las simulaciones electromagnéticas del motor.
4. Conocer los pasos a dar para el diseño completo de un motor eléctrico.

Los cuales se desarrollan dentro de la siguiente planificación presentada:

Acción	Semanas												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Explicación de la metodología a seguir con el proyecto-práctica													
Definición de los motores a diseñar													
Tipos de máquinas eléctricas													
Partes de las máquinas eléctricas													
Materiales usados en la fabricación													
Tipos de devanados													
Pre-diseño de un motor eléctrico													
Diseño electromagnético (analítico)													
Diseño electromagnético (Maxwell)													
Diseño térmico													
Planos													

Las tres primeras semanas han sido principalmente teóricas explicando tanto los fundamentos de las máquinas eléctricas como sus partes y materiales.

A partir de la cuarta semana se ha dado comienzo a los pasos propios de diseño, comenzando con el pre-diseño del motor junto con un pre-diseño analítico del mismo.

El diseño mediante el software de elementos finitos ha dado comienzo alrededor de la semana sexta donde se ha enseñado el uso de esta herramienta con la que los alumnos han llevado a cabo el diseño del motor, junto con el diseño térmico.

El proceso ha finalizado con la definición de los planos correspondientes.

2. RESULTADOS OBTENIDOS

A continuación, se presentan los resultados obtenidos en la implantación del proyecto desarrollado.

Al comienzo de curso se ha explicado a los alumnos la “novedad” del curso en el que se iba a implantar el presente Proyecto de Innovación Docente y que, para ello, trabajarían en grupos de 3 alumnos, de tal forma que, los 15 alumnos que participaban en la asignatura fueron divididos en 5 grupos.

1. Conocer la información necesaria (tanto por parte del cliente como de la aplicación) para dar comienzo al proceso de diseño de un motor eléctrico.

El primer paso consistió en explicar a los alumnos, de forma general, los distintos pasos a realizar para el diseño completo de un motor eléctrico. Dicha explicación se llevó a cabo a través de presentaciones y casos prácticos en los han trabajado los profesores.

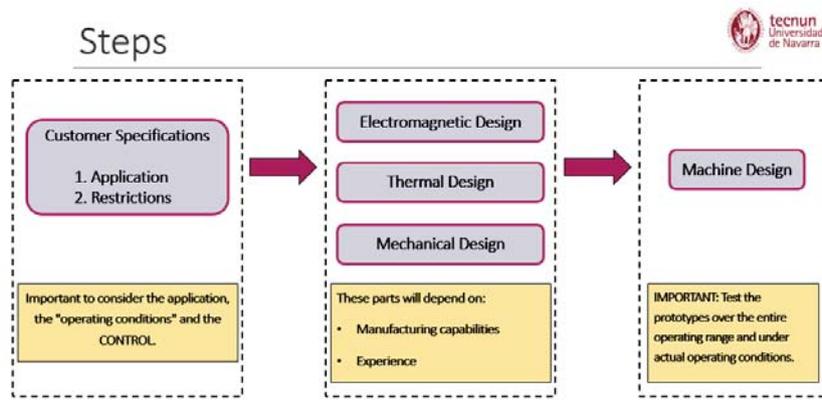


Figura 1. Pasos generales en el diseño de un motor eléctrico.

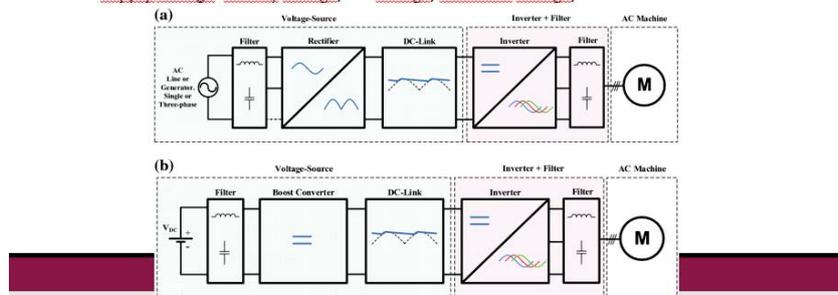
A partir de ahí la explicación se centró en los datos que son necesarios solicitar al cliente, para definir los requerimientos del motor a diseñar. Dichos datos son muy dependientes de las distintas aplicaciones en las que trabajan los motores eléctricos, pero a pesar del amplio abanico de situaciones, hay una serie de “datos clave” que nos permiten definir el marco a partir del cual se va a comenzar el diseño del motor.

Customer specifications



Application Specifications

- **Power:** type of service, ambient temperature...
- **Speed:** rotation speed, speed range
- **Supply Voltage:** battery voltage, net voltage, converter voltage,...



Customer specifications



Other specification and restrictions:

- **Geometrical restrictions**
- **Type of refrigeration:** air, water, ventilator...
- **Motor position:** vertical, horizontal
- **Protection grade:** IP...

IP (Ingress Protection) Ratings Guide	
SOLIDS	WATER
1: Protected against solid objects greater than 50mm diameter.	1: Protected against vertically falling drops of water.
2: Protected against solid objects greater than 12.5mm diameter.	2: Protected against vertically falling drops of water with angles up to 15 degrees from the vertical.
3: Protected against solid objects greater than 2.5mm diameter.	3: Protected against sprays of water up to 60 degrees from the vertical.
4: Protected against solid objects greater than 1mm diameter.	4: Protected against water splashed from all directions.
5: Dust protected. Limited ingress of dust will not interfere with operation of the equipment, but it is not permitted.	5: Protected against jets of water.
6: Total ingress. No ingress of dust, even in quantities.	6: Water from hoses under pressure (up to 100 bar) and jets of water.
Rating Example: IP65	
7: Protected against the effects of immersion in water.	7: Protected against the effects of immersion in water.
8: Protected against the effects of immersion in water under pressure for long periods.	8: Protected against the effects of immersion in water under pressure for long periods.

Figura 2. Especificaciones a solicitar al cliente.

A los alumnos se les han ido explicando cada una de las especificaciones definidas, poniendo ejemplos prácticos en los que se “visualizaba” la influencia de cada uno de ellos.

2. Conocer las limitaciones que como fabricante “tengo” para fabricar motores y que son necesarias para orientar correctamente el diseño del motor.

Conocido lo que “desea” el cliente para el diseño de un motor eléctrico es necesario conocer cuáles son las restricciones que tenemos. Para ello, se dio un repaso a los parámetros claves del diseño de un motor, analizando de qué depende cada uno de los parámetros, tanto desde el punto de vista de prestaciones solicitadas por el cliente, como por limitaciones que un fabricante puede tener en su línea de producción, que puede hacer orientar el diseño hacia una dirección u otra.

En este punto, lo alumnos pudieron analizar la influencia de cada uno de los parámetros que se muestran en la siguiente ilustración.

Diseño electromag.: Dimensionar



- Carga lineal específica
- Densidad de corriente [A/mm^2]
- Número de ranuras por polo y fase
- Clase de aislamiento
- Inducciones
- Calidad chapa magnética
- Anchura chapa magnética
- Anchura aislamiento ranura
- Canales de ventilación
- Calidad de imanes
- Factor de relleno: cobre redondo o pletina

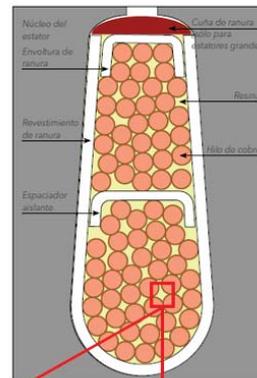


Figura 3. Limitaciones a tener en cuenta en el diseño de un motor.

Así mismo, se hizo hincapié en la interrelación que existe entre las distintas partes del diseño de un motor: electromagnético, térmico y mecánico, para lograr un motor “óptimo” según los requerimientos del cliente y las limitaciones de fabricación.

Multi-physics simulation



Couple electromagnetic, thermal and mechanical simulations

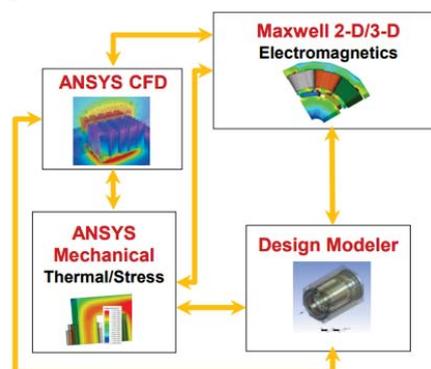


Figura 4. Relación entre las distintas partes del diseño de un motor.

3. Conocer el uso de la herramienta de cálculo por elementos finitos de Maxwell para las simulaciones electromagnéticas del motor.

Conocidos los requerimientos del cliente y las limitaciones desde el punto de vista de fabricación y diseño, el siguiente paso consistió en introducir a los alumnos en el uso de los softwares de Elementos Finitos, que nos permiten conocer el comportamiento y prestaciones de un motor diseñado.

Para el cálculo electromagnético se ha utilizado el software de Elementos Finitos Maxwell®, cuyo uso fue introducido el año pasado y propuesto como Proyecto de Innovación Docente bajo el título de “IMPLEMENTACIÓN DE UNA HERRAMIENTA DE SIMULACIÓN POR ELEMENTOS FINITOS PARA LA “VISUALIZACIÓN” DE LOS CAMPOS MAGNÉTICOS GENERADOS EN LOS MOTORES ELÉCTRICOS”.

Este programa ha permitido a los alumnos estudiar la influencia de los distintos parámetros del diseño del motor en las prestaciones finales del mismo.

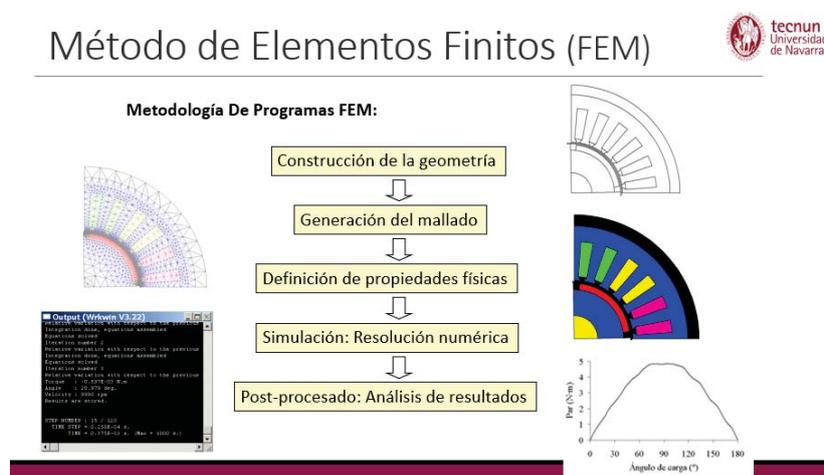


Figura 5. Estructura de los programas de Elementos Finitos para el cálculo electromagnético.

4. Conocer los pasos a dar para el diseño completo de un motor eléctrico.

A partir de los apartados anteriores los alumnos pusieron en práctica los pasos a dar para el diseño de un motor completo. Para ello, se dio a cada uno de los grupos, unas especificaciones completas de una aplicación: potencia, velocidad, tensión..., así como una serie de restricciones a tener en cuenta a la hora de llevar a cabo el diseño.

Diseño electromagnético

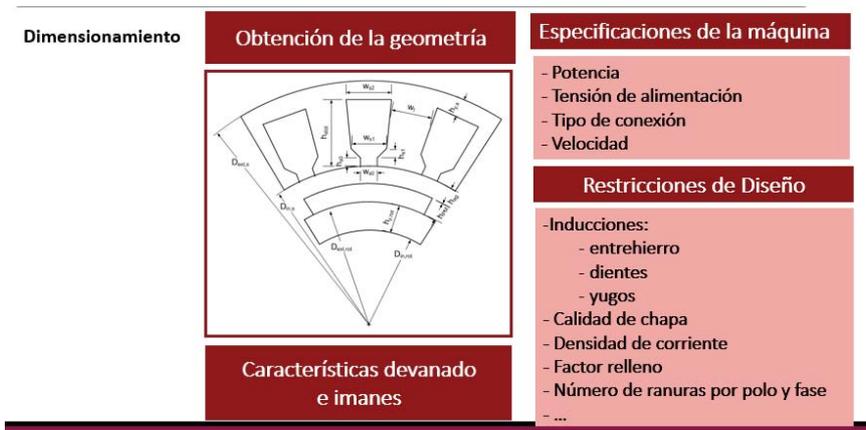


Figura 6. Pasos a dar para el diseño completo de un motor eléctrico.

Con los datos provistos más el uso del software de simulación, los distintos grupos llevaron a cabo el diseño del motor correspondiente.

En esta parte los alumnos iban precisando de ayuda para “interpretar” correctamente los datos que iban obteniendo a lo largo del diseño, para poder evaluar cuál de los distintos diseños que iban consiguiendo era mejor que otro.

A lo largo de esta parte se les fueron dando a los alumnos distintos criterios que les ayudara a ir seleccionando aquellos parámetros en los que fijarse para poder evaluar correctamente la idoneidad del motor que estaban diseñando.

Al final de este proceso los alumnos escribieron un informe en el que fueron exponiendo los pasos dados para realizar el diseño del motor, así como los resultados obtenidos en las distintas simulaciones llevadas a cabo.

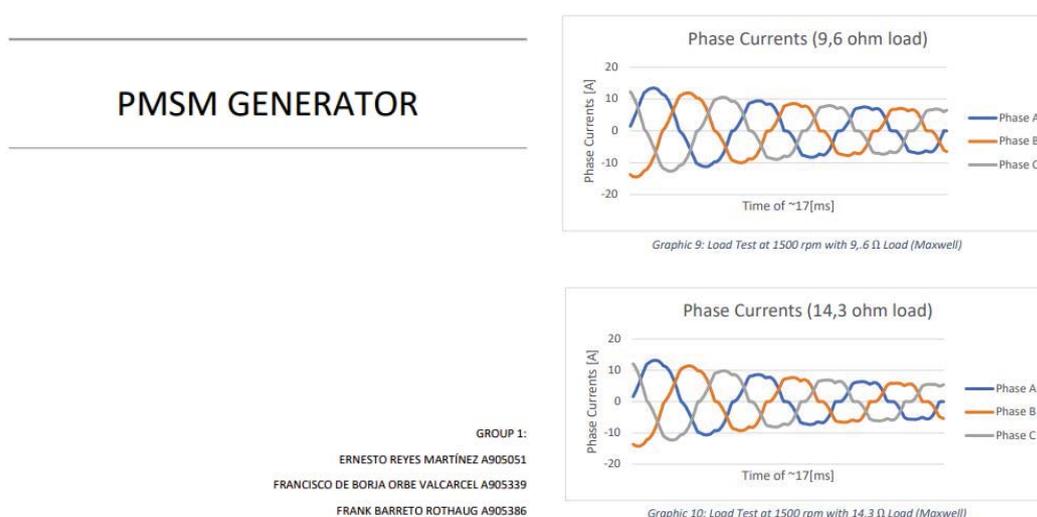


Figura 7. Ejemplo de los resultados obtenidos en las simulaciones de un motor eléctrico diseñado.

3. RESULTADOS OBTENIDOS

La valoración que damos a la implementación de este Proyecto de Innovación (a pesar de algunas mejoras que pasaremos a enumerar) ha sido muy positiva. A los alumnos les ha permitido conocer el proceso completo del diseño de un motor eléctrico desde las especificaciones del cliente, hasta el desarrollo de los planos, pasando por las restricciones que nos podemos encontrar en la fabricación, así como los aspectos del diseño propios del motor.

El trabajo en grupo también ha ayudado a aligerar algunas partes del trabajo más teóricas para las que era precisa analizar distintos puntos de vista. La opinión de los distintos miembros del grupo a un problema concreto ha aportado valor añadido al trabajo realizado y, desde nuestro punto de vista, les ha ayudado a resolver situaciones de la “vida real” donde es muy importante analizar los distintos puntos de vista y contrastar unos con otros, justificando las ventajas y desventajas de cada uno de ellos.

La presentación de un informe final por parte de los alumnos les ha ayudado a ir seleccionando, de todo el material que se ha ido generando durante el curso, aquellos aspectos más importantes del proceso, los cuales cada grupo los ha plasmado con mayor o menor acierto.

En términos generales los profesores creemos que este proyecto les ha permitido a los alumnos lograr una visión general de los pasos de a dar para desarrollar un completa metodología para el diseño de un motor eléctrico.

A modo de aspectos que se ha visto necesario mejorar se enumeran los siguientes:

- A lo largo de la asignatura se ha visto que, con objeto de aligerar las clases, se podrían grabar una serie de videos explicativos de conceptos básicos de las máquinas eléctricas. Ello permitiría aprovechar esos tiempos para profundizar en el análisis de los resultados de las simulaciones que es la parte más interesante para el aprendizaje de los alumnos con todo lo relacionado con las máquinas eléctricas.
- Así mismo, se ha visto interesante poder llevar a cabo la fabricación completa de un motor eléctrico, lo que daría pie a que los alumnos “experimenten” aquello que previamente han simulado con el ordenador.
- Por falta de tiempo no hemos podido analizar los informes presentados. Algunos de ellos presentaban carencias importantes que hubiera sido interesante poner en común para el aprendizaje.
- Igualmente, no pudimos llevar a cabo la encuesta de satisfacción por parte de los alumnos, aunque los comentarios recibidos de viva voz por parte de los mismos han sido positivos en cuenta que les ha resultado una experiencia muy satisfactoria. Fruto de ello es que más de la mitad de los alumnos ha realizado el Proyecto Final de Grado en el grupo de Investigación de CEIT donde desarrollan su labor los profesores del presente Proyecto de Investigación Docente.

Estas ideas que se han observado formarán parte de sucesivas propuestas de proyectos de investigación para años sucesivos.