



### Memoria del proyecto Implantación y desarrollo de la asignatura ElectroIngenia

Creada por FRANCISCO BLAZQUEZ GARCIA

#### 1. CONSECUION DE OBJETIVOS / ACTUACIONES

##### 1.1. De los objetivos y actuaciones previstas en la solicitud de su Proyecto, describa cómo ha sido la consecución de ambos:

La base de este proyecto es la implantación de la asignatura “Ingeniando un Sistema Eléctrico” de 12 ECTS, cuyo nombre original era “ElectroIngenia”, en el marco de las asignaturas tipo Ingenia que se ofrecen en la Titulación de Máster en Ingeniería Industrial.

En el desarrollo de la asignatura los alumnos han trabajado, divididos en tres grupos, en el diseño y construcción de los diferentes elementos que componen un sistema eléctrico de potencia completo. Una vez desarrollados los sistemas, uno por cada grupo, se ha procedido a una competición entre los mismos basada en la teoría de los mercados eléctricos.

Se observa que se trata de un trabajo multidisciplinar con un alto contenido práctico que ha contado con la participación de 16 profesores de las áreas de Máquinas Eléctricas, Electrotecnia y Sistemas Eléctricos de Potencia y Estadística. Además han participado otros 3 profesores de la ETSII para el fomento de competencias tales como trabajo en equipo, sostenibilidad y responsabilidad social, aunque estos últimos no hayan participado en el proyecto.

Para dinamizar y dar uniformidad a los contenidos de la asignatura se propuso como primer objetivo “**1-Desarrollo del marco Web de la asignatura**”. Finalmente, de las aplicaciones Web de Gestión de Recursos disponibles en la UPM, nos decidimos a utilizar Moodle por ser la más extendida en el resto de las asignaturas tipo Ingenia, dónde también impartían docencia los 3 profesores encargados de las competencias transversales. Se ha desarrollado una plantilla en Moodle en la que:

- Los alumnos acceden a la información de las diferentes etapas del proyecto.
- Se planifican y coordinan las tareas por parte de los profesores.
- Los alumnos realizan las entregas encargadas por los profesores.

Aunque estaba previsto en la propuesta del proyecto que los alumnos pudieran interactuar entre sí y con los profesores mediante Foros periódicos, finalmente en esta primera edición de la asignatura no se ha visto necesario su uso. El motivo ha sido que cada equipo, finalmente de 8 alumnos, ha realizado la mayor parte de su trabajo en el laboratorio bajo la supervisión de profesores, por lo que las dudas, muchas en esta primera edición, se han ido resolviendo en el laboratorio sobre la marcha.

En cualquier caso no se descarta que en próximas ediciones, con las aplicaciones más desarrolladas y robustas, todo el trabajo de simulación para desarrollar nuevas estrategias de control más eficientes se pueda realizar desde casa, utilizando los foros para puesta en común de dudas y resultados ya que la plataforma Moodle lo permite.

En la figura 1 se presenta la pantalla principal de la asignatura en Moodle:

The screenshot displays a Moodle course interface. On the left, a navigation menu includes sections for 'Contacto y preguntas frecuentes', 'Navegación', 'Administración', and 'Actividades'. The main content area is titled 'INGENIANDO UN SISTEMA ELÉCTRICO' and features a central graphic of a globe with a sun, a lightbulb, and a wind turbine. Below this, there are two main topics: 'Tema 1. Generación eléctrica con energía solar fotovoltaica' and 'Tema 2. Convertidores Electrónicos de Potencia'. Each topic has a representative image and a list of associated documents.

En la plataforma se han “colgado” más de 30 documentos, entre hojas de cálculo, programas y explicaciones teóricas, que han sido elaborados por los profesores. También se han realizado esquemas de montaje de los equipos, ver anexo I, para lo que ha sido de gran ayuda la colaboración de un becario.

En la parte de generación de energía eléctrica, cada grupo ha diseñado y construido un generador fotovoltaico, así como su conexión a una red eléctrica trifásica, por lo que se planteó como segundo objetivo **“2-Especificación del material de los grupos de generación”**. Los alumnos han estudiado las características de los paneles fotovoltaicos, ver figura 2, e inversores electrónicos disponibles en el Laboratorio de Máquinas Eléctricas.



A partir del conocimiento de estos equipos, han especificado el material eléctrico necesario, ingeniería de detalle, para el acondicionamiento y montaje de los equipos. Se trata del siguiente material:

- Tarjeta de evaluación de inversores tipo FEBSPM3SPM45\_M01MTCA
- Semiconductores tipo IGBT\_FSBB20CH60C
- Condensadores
- Fuentes de alimentación
- Optoacopladores
- Buffer tipo SN7407N
- Disipador\_Heatsink.

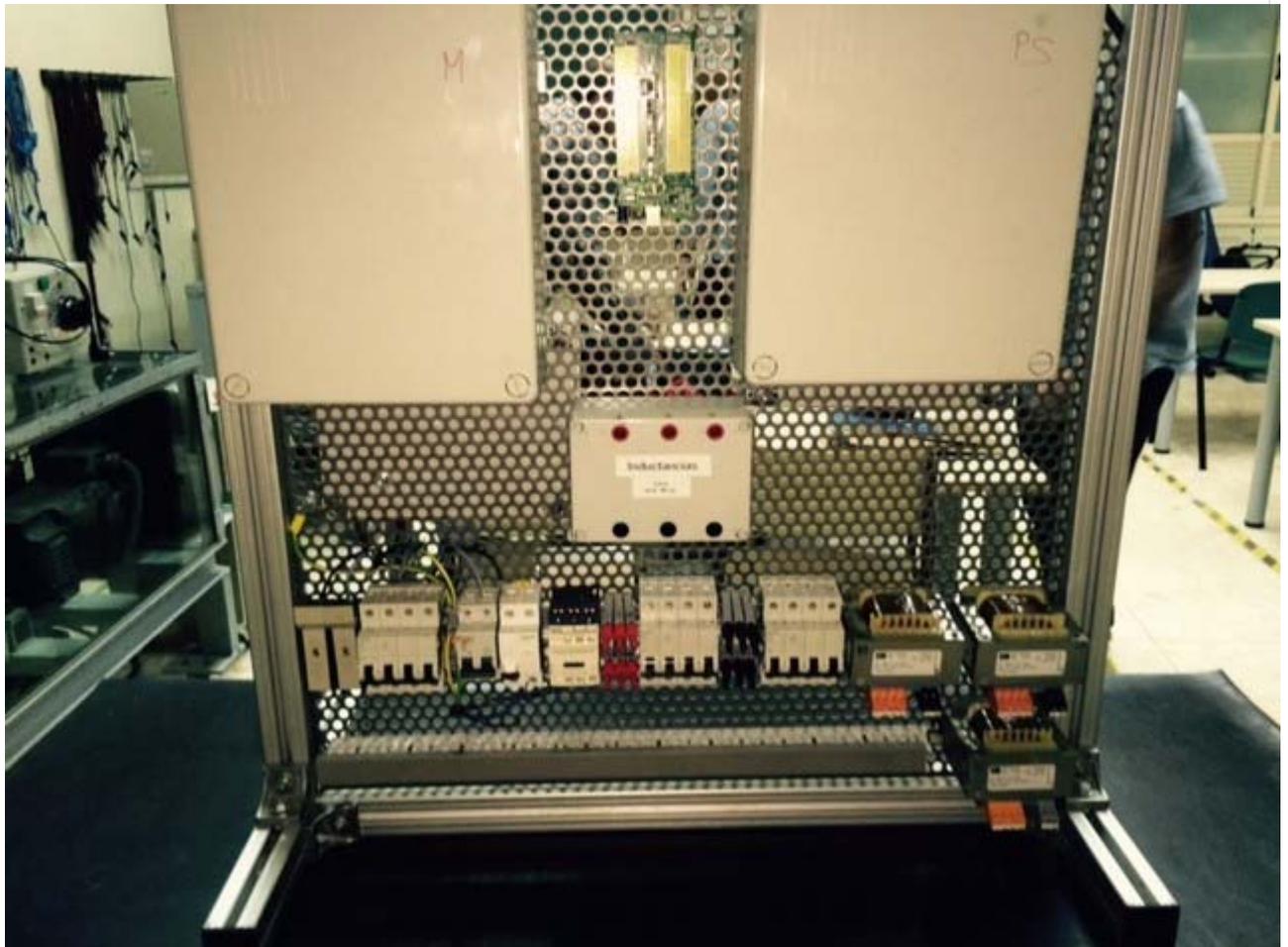
Para el montaje de los equipos ha sido necesario recurrir a parte del apartado de “material fungible” del presupuesto.

Una vez montados los equipos, todos iguales, cada uno de los tres grupos de trabajo ha desarrollado su estrategia de control de los inversores para hacer al sistema de generación más eficiente de cara al juego de mercados eléctricos en el que tendrán que competir.

En la parte de consumo, cada grupo ha diseñado y construido el accionamiento eléctrico de una bomba hidráulica, para almacenamiento de energía, alimentada desde la red trifásica, que bombea agua a un depósito situado a un nivel superior. Por ello se ha planteado como tercer objetivo “**3- Especificación del material de los grupos de bombeo**”. La especificación de todo el material, salvo los convertidores disponibles en el Laboratorio de Máquinas Eléctricas, se ha realizado una vez conocida la potencia de los grupos de generación. Respecto al material eléctrico se ha intentado utilizar en la medida de lo posible el mismo que en el sistema fotovoltaico, con el objetivo de optimizar los recursos desde el punto de vista de los repuestos:

- Tarjeta de evaluación de inversores tipo FEBSPM3SPM45\_M01MTCA
- Semiconductores tipo IGBT\_FSBB20CH60C
- Condensadores
- Fuentes de alimentación
- Optoacopladores
- Buffer tipo SN7407N
- Rectificador tipo VUO25-12NO8
- Relé de tensión tipo EUL/EUH AC/DC voltaje control
- Resistencia de precarga de los condensadores

Tanto los equipos eléctricos asociados a la bomba como los asociados a los paneles fotovoltaicos se han montado en el mismo bastidor, según se observa en las figuras 3a y 3b.





Respecto al material hidráulico se ha trabajado con;

- Bomba trifásica Speroni 372W, 230/400V, 1,7/1 A
- Bomba trifásica Internovo 60W, 220/380V, 0,22/0,12<sup>a</sup>
- Tuberías, depósitos, manguitos, válvulas...

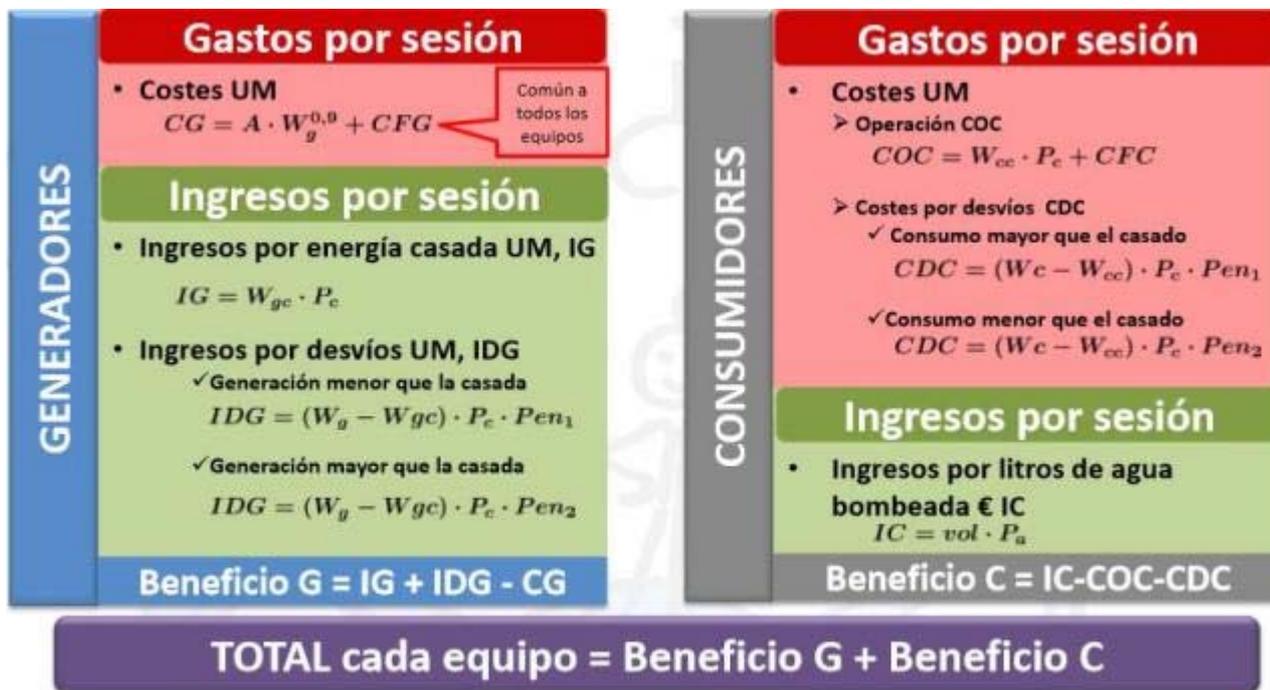
Los equipos una vez montados se presentan en la figura 4:



Con este material los alumnos han desarrollado una estrategia de control y consumo, basada en la mejora del rendimiento de la electrobomba, pero teniendo también en cuenta el coste de la energía consumida al precio que resulte de la casación del mercado eléctrico.

Finalmente, para facilitar el desarrollo del juego híbrido de simulación de mercados eléctricos, marco general para la consecución de los distintos objetivos de la asignatura "Ingeniando un sistema Eléctrico", se ha propuesto como cuarto y último objetivo del proyecto "**4-Estudio previo de escenarios para la competición**". En este juego hay un total de 7 agentes, 1 generador y 1 consumidor, en cada uno de los 3 equipos de alumnos, y la red eléctrica controlada por el operador del sistema, que es el profesor.

Se ha desarrollado un juego de mercados donde el objetivo de cada equipo es obtener el máximo beneficio, teniendo en cuenta los costes y los ingresos de los grupos de generación y consumo con los que operan. La figura 5 muestra los costes e ingresos que se han considerado finalmente:



*CFG* Costes fijos de generación

$W_g$  Energía generada en Wh

*A* Constante

$W_{gc}$  Energía casada por el generador en Wh

$P_c$  Precio casación en €/Wh

$Pen_1$  Penalización adimensional > 1

$Pen_2$  Penalización adimensional < 1

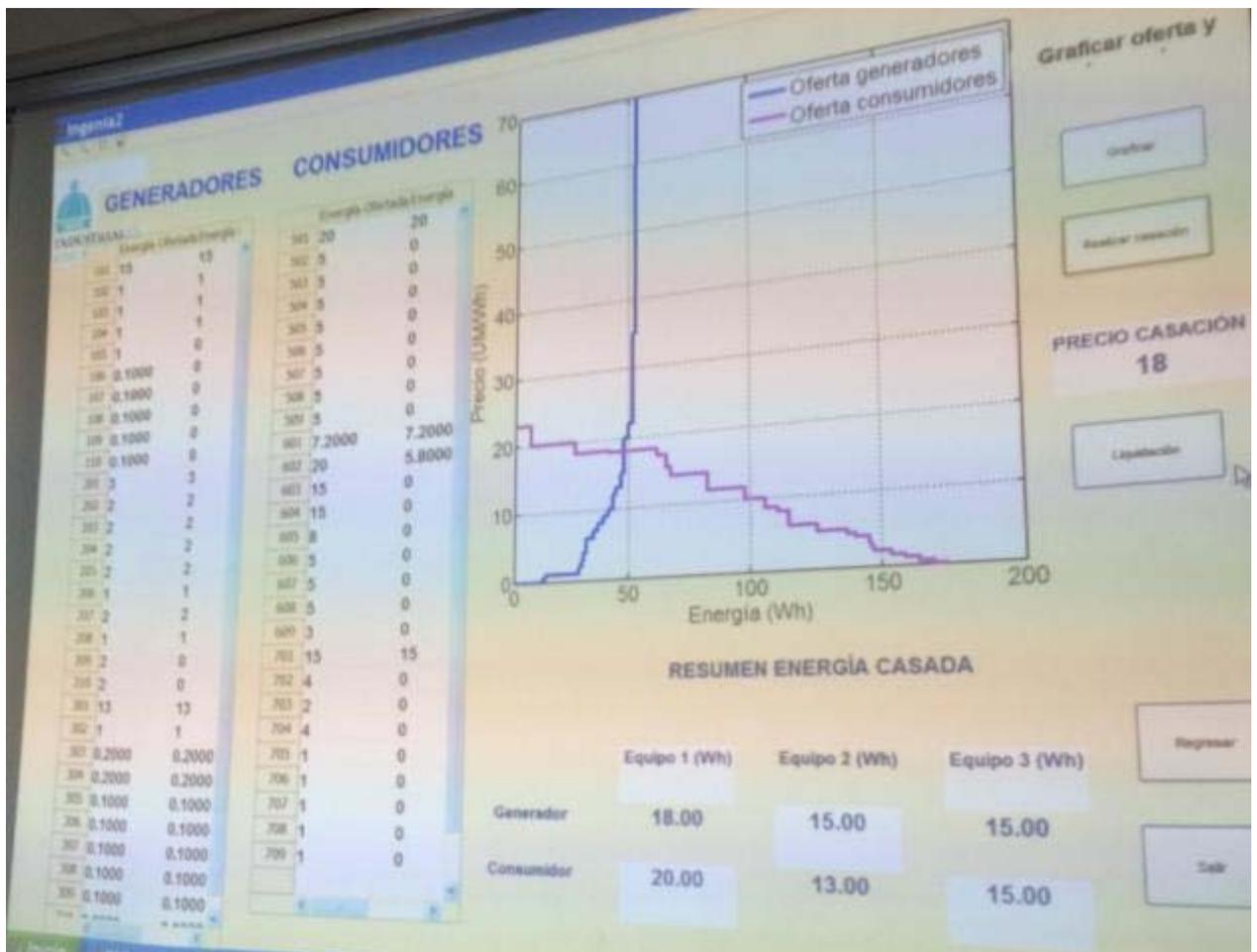
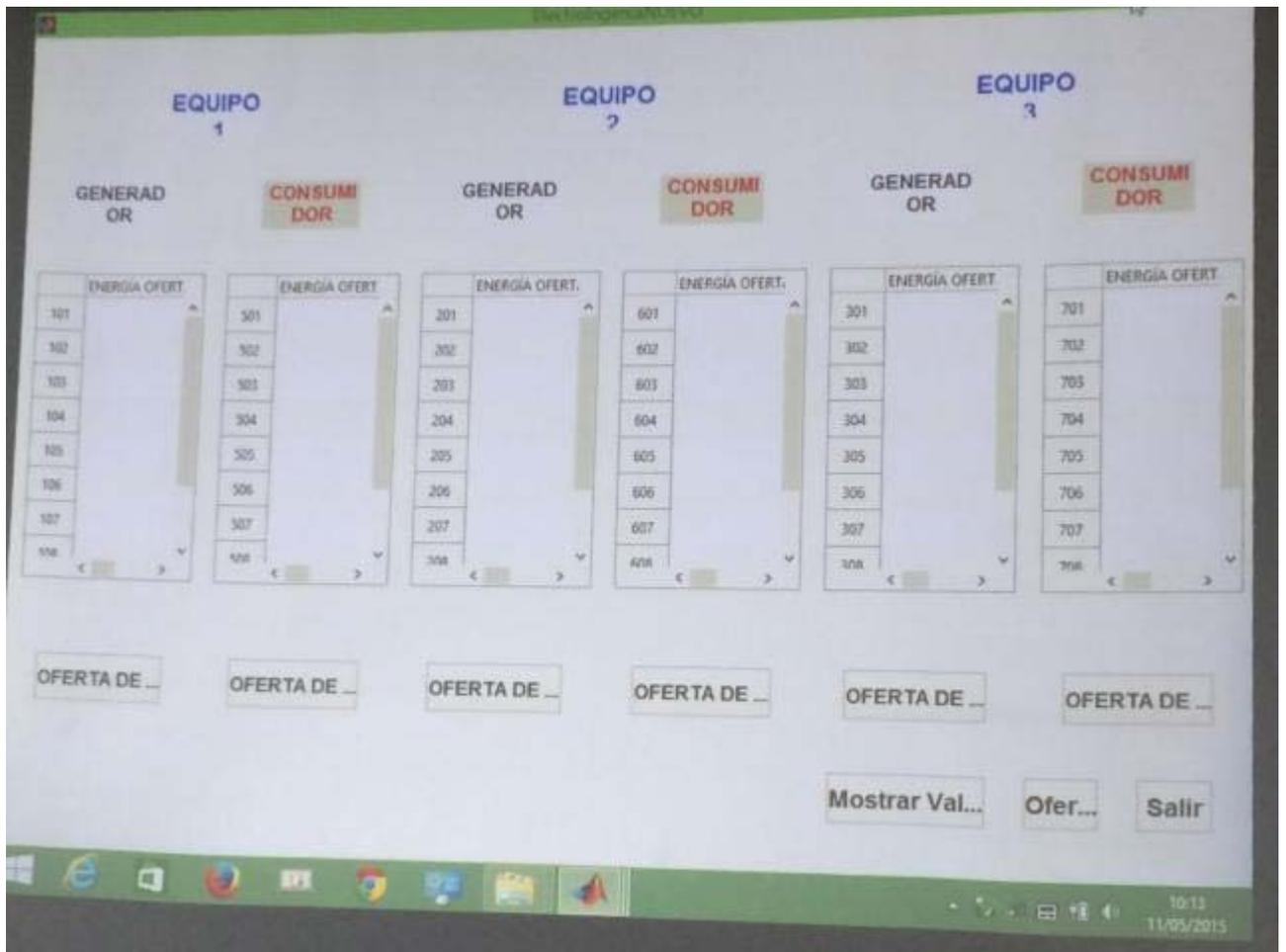
$W_c$  Energía consumida en Wh

$W_{cc}$  Energía casada por el consumidor en Wh

$P_a$  Precio del litro de agua bombeado en €/litro

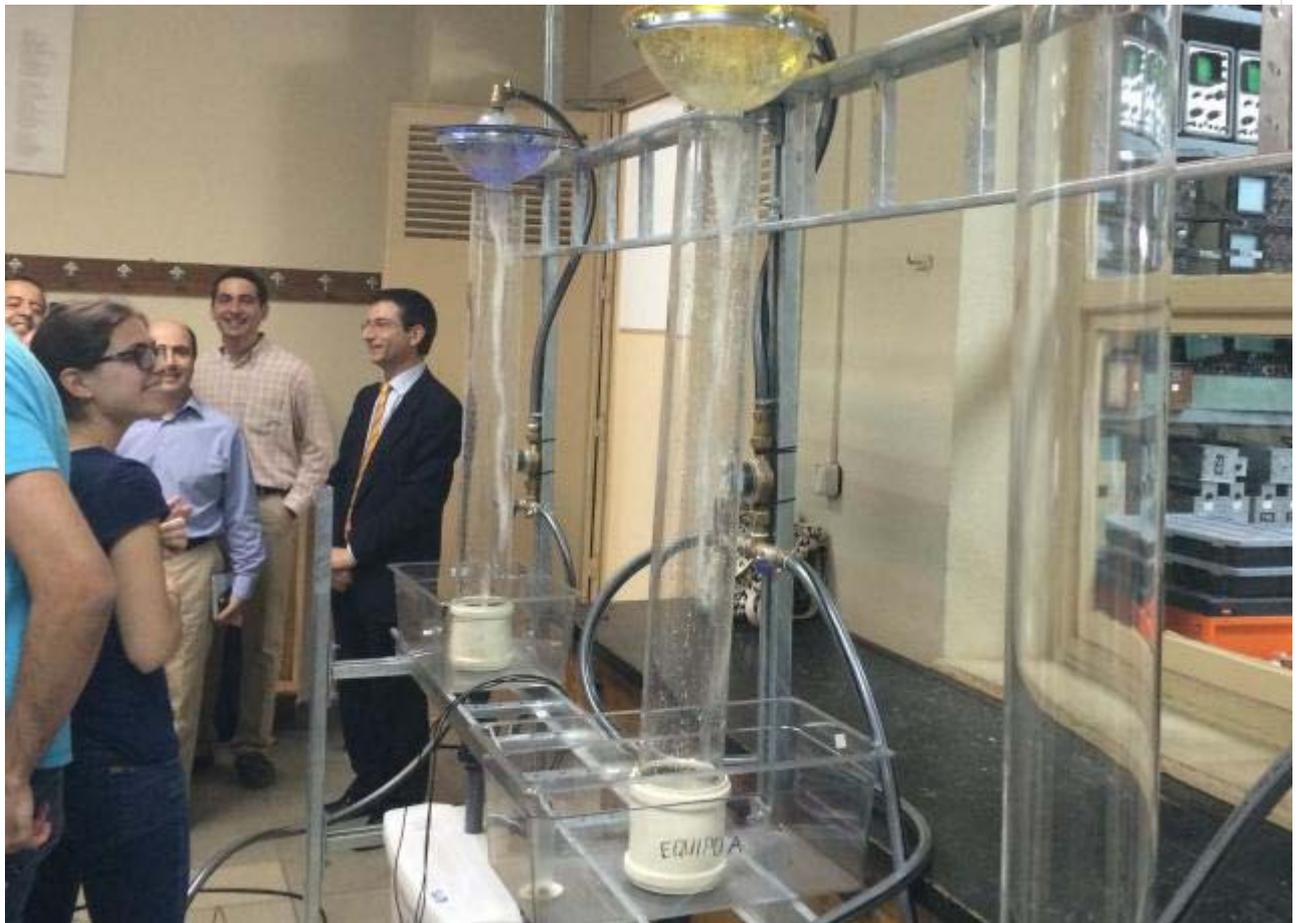
Aunque la competición se ha organizado en varias sesiones, con el objetivo de que los equipos fueran aprendiendo de las experiencias de mercado anteriores, el trabajo de simulación de escenarios que se ha llevado a cabo en esta parte del proyecto ha sido fundamental para que, efectivamente, gane la competición el equipo que haya hecho un buen trabajo previo de diseño, construcción y ensayo de los dispositivos generadores y consumidores.

Para simular todos estos se ha desarrollado un programa de casación en Matlab, con una interfaz gráfica para la mejor interpretación de los resultados. En esta parte ha sido fundamental el trabajo de un segundo becario. En las figuras 6a y 6b se muestran algunas de las pantallas de la interfaz gráfica desarrollada:



El juego final se ha desarrollado en varias sesiones separadas entre sí en el tiempo. Con esta separación temporal los equipos han dispuesto de tiempo para mejorar el comportamiento técnico de sus dispositivos de generación y

consumo. También han podido analizar el comportamiento del mercado durante la sesión anterior y para definir su estrategia para la siguiente sesión. En las figuras 7a y 7b se muestra el laboratorio durante una sesión del juego:



Para finalizar con los objetivos comentar que la integración de este sistema real en un juego de mercados eléctricos, además de servir de incentivo al alumno y de método de evaluación del trabajo desarrollado, persigue dotar al mero trabajo de ingeniería de una orientación hacia la satisfacción de la necesidad del cliente, teniendo en cuenta restricciones de recursos. Esta orientación es una de las carencias detectadas por las empresas empleadoras en la formación de nuestros alumnos.

### 3. RESULTADOS E IMPACTO

#### 3.1. Relacione los productos concretos y tangibles desarrollados (aplicaciones, material didáctico, informes, guías, etc.):

- Se han realizado **3 aplicaciones** de generación eléctrica, compuestas por:

- 1-Paneles fotovoltaicos
- 2-Transformadores y bobinas de adaptación de tensión
- 3-Inversores electrónico
- 4-Aparata para media y protección

- Se han realizado **3 aplicaciones** para almacenamiento de energía por bombeo, compuestas por:

- 1-Depósito y tuberías
- 2-Electro-bombas
- 3-Inversor Electrónico
- 4-Rectificador Electrónico
- 5-Aparata para medida y protección

- Se ha realizado **una aplicación** para la casación de la energía eléctrica basada en las leyes de mercado eléctrico, así como su interfaz para la utilización más rápida e intuitiva de la misma.
- Se ha elaborado la documentación necesaria para la correcta utilización de las **7 aplicaciones** anteriormente descritas (guías de usuario y esquemas de cableado), así como el material didáctico teórico – práctico utilizado en la asignatura “Ingeniando un Sistema Eléctrico”, cuya primera edición se ha llevado a cabo al hilo de este proyecto de innovación educativa. A continuación se presenta el listado de la documentación más importante:

- 1-01\_Guía de uso del programa CCS y de la Interfaz gráfica
- 2-02\_Guía de uso de la Caja de sensores y Ajuste
- 3-03\_Guía para ensayo de los inversores de Ingenia
- 4-04\_Guía de uso para conexión a red de un módulo fotovoltaico
- 5-PLANO\_Caja\_Sensores
- 6-Plano\_DSP
- 7-PLANOS\_CONJUNTO del bastidor
- 8-PLANO\_Inversor\_bombeo
- 9-PLANO\_PCB\_Adaptación
- 10-PLANO\_Inversor\_solar
- 11-PLANO\_PCB\_Adaptación
- 12-Programa\_Micro TMS320
- 13-Tema 0. Generalidades “Ingeniando un Sistema Eléctrico”
- 14-Tema 1. Generación eléctrica con energía solar fotovoltaica
- 15-Tema 2. Convertidores Electrónicos de Potencia
- 16-Tema 3. Instalaciones de bombeo
- 17-Tema 4. DSP Industrial TMS320F28
- 18-Tema 5. Programación en C para Matlab y MicroProcesadores
- 19-Tema 6. Accionamientos eléctricos para bombeo regulado con motores de inducción
- 20-Tema 7. Descripción equipos de Ingenia
- 21-Tema 8. Teoría general de Mercados Eléctricos

## 3.2. Describa el impacto del PIE con resultados o evidencias obtenidas en los ámbitos que sean oportunos

### 3.2.1 Mejora resultados aprendizaje:

- Si se cuantifican los resultados de aprendizaje utilizando como criterio la calificación obtenida por los alumnos, hay que decir que los resultados han sido muy satisfactorios. En las diferentes pruebas de evaluación se obtuvieron los siguientes resultados:

Tests Teoría, media alumnos 8,2 (máxima nota 9);

Presentaciones, media alumnos 9,2 (máxima nota 10);

Competiciones, 9,8 (nota máxima 10)

- Antes de publicarse las calificaciones se realizó una encuesta anónima a los alumnos, en la que la valoración global de la asignatura en cuanto a su planteamiento como sistema de aprendizaje fue de media 9 (máxima nota 10). Teniendo en cuenta la elevada carga de trabajo que ha supuesto esta asignatura esta valoración positiva adquiere mayor importancia
- La opinión favorable de todos los profesores involucrados ha sido unánime. De hecho todos ellos actualmente se encuentran colaborando de nuevo en esta asignatura en el curso 2015-16, cuando la participación en la misma es optativa para los docentes.

### 3.2.3. Mejora en el uso de metodologías:

El proyecto está englobado en la iniciativa CDIO, que es un marco educativo innovador para la producción de la próxima generación de ingenieros, y de la ETSII-UPM es el único participante en España.

Se pretende proporcionar a los estudiantes una educación donde los fundamentos de ingeniería se establezcan en el contexto de Concebir - Diseñar - Implementar - Operar (CDIO) sistemas y productos del mundo real.

En todo el mundo, los colaboradores de esta iniciativa han adoptado CDIO como el marco de su planificación curricular, introduciendo sistemas de evaluación **basado en el comportamiento práctico del producto obtenido**

CDIO se está utilizando actualmente en departamentos de ingeniería aeroespacial, física aplicada, ingeniería eléctrica e ingeniería mecánica

### 3.2.9. Mejora de sistemas de evaluación:

El método de evaluación propuesto en la asignatura "Ingeniando un Sistema Eléctrico" a la que se ha ligado este proyecto supone una ruptura con respecto al sistema tradicional, ya que sólo el 25% de la calificación está ligado a conocimientos teóricos, mediante 4 pruebas tipo test, realizadas al final de cada bimestre.

Sin embargo, también supone una innovación con respecto al sistema de evaluación continua, ya que el 50% de la calificación se obtiene de las competiciones, organizadas en 4 bloques, generación FV, bombeo, simulaciones virtuales del mercado eléctrico y competiciones finales. Se ha utilizado la competitividad como un factor de motivación en los alumnos, lo que ha dado muy buenos resultados.

Finalmente el 25% restante de la calificación se obtiene de 4 presentaciones orales que los alumnos tienen que realizar y en las que, más que conocimientos, se han evaluado las competencias de trabajo en equipo, comunicación y creatividad, para lo que se han utilizado las rúbricas facilitadas por la subdirección de la ETSII.

## 4. DIFUSION

### 4.1 Especifique las acciones de difusión realizadas (congresos, jornadas, artículos, capítulo libro, libro completo, etc):

- En Julio de 2015 se realizó en la ETSII una Jornada de presentación de las asignaturas INGENIA que se ofrecen en la titulación de Máster en Ingeniería Industrial. En la presentación de "Ingeniando un Sistema Eléctrico" se expusieron parte de los resultados de este proyecto de innovación educativa.
- Con fecha 13/11/2015 se ha enviado un resumen titulado "DEVISING AN ELECTRIC SYSTEM: A CDIO APPROACH APPLIED TO ELECTRICAL ENGINEERING" para el "2016 - 12th International CDIO Conference, Turku, Finland", que se celebrará en Junio de 2016. Literalmente, la iniciativa CDIO constituye un marco de

innovación educativa que busca producir una nueva generación de ingenieros capaces de trabajar en el contexto de Concebir (**C**onceiving), Diseñar (**D**esigning), Desarrollar (**I**mplementing) y Operar (**O**perating) sistemas y productos en la vida real.

Una vez sea aceptada la ponencia, será necesario buscar financiación por no haberse podido aplazar el gasto de lo disponible en la partida de "gastos de difusión.

## 5. DIFICULTADES Y SUGERENCIAS DE MEJORA

### 5.1. Describa las dificultades más relevantes encontradas así como las sugerencias de mejora que considere oportunas. :

1. Sería interesante aumentar la dotación en alguna partida como la de Material Fungible que, en nuestro caso quedaba muy corta habida cuenta de la gran carga de laboratorio del proyecto planteado.
2. Abundando en la sugerencia anterior, la posibilidad de poder trasvasar parte del presupuesto de unas partidas a otras en función del tipo de proyectos podría ser de ayuda.
3. Considero de muy poca utilidad que la partida de gastos difusión haya que liquidarla antes de la finalización del proyecto. Dado que normalmente no se tienen resultados publicables hasta el último tercio del proyecto y, teniendo en cuenta los plazos en torno a 6 meses que hay en los congresos entre la presentación de resúmenes y su celebración, hace prácticamente inutilizable la partida de gastos de difusión.

## 6. VALORACION SERVICIOS

6.1 Valore de 1 a 10 la atención recibida por el Servicio de IE: 10

6.2 Valore de 1 a 10 los servicios y recursos disponibles en el Portal de IE: 7

### ADJUNTOS

#### Ficheros adjuntos:

 [anexo1.pdf](#)