

MODEL ROCKET WORKSHOP

1.- CONTEXTUALIZACIÓN

La Universidad española está afrontando cambios muy importantes como consecuencia del proceso de adaptación al Espacio Europeo de Enseñanza Superior (EEES). Este proceso tiene diferentes facetas. Probablemente la que está recibiendo más atención es la elaboración de un nuevo catálogo de titulaciones de grado y master que pueden representar un cambio importante en el panorama de la oferta formativa universitaria. Así, por ejemplo, en el ámbito de la aeronáutica, es muy probable que el catalogo actual de titulaciones, formado por cinco ingenierías técnicas aeronáuticas y una ingeniería aeronáutica sea substituido por un solo título de grado y un título de master. Ciertamente, la cuestión del catálogo de titulaciones es el aspecto que más debate está suscitando.

Una segunda faceta de la adaptación al EEES, de la que se habla menos, pero que es igualmente importante, es la adopción del sistema europeo de créditos (ECTS), que implica un cambio en los métodos docentes que se emplean en la enseñanza universitaria. Este cambio persigue una mayor implicación del alumno, y la incorporación de actividades que faciliten el desarrollo de competencias profesionales muy importantes, como el trabajo en grupo, el aprendizaje autónomo, la comunicación oral y escrita, etc. Con frecuencia, este tipo de competencias, que los empleadores reclaman con más insistencia cada día, han quedado en un segundo plano en la planificación docente, que suele prestar más atención a los contenidos técnicos y científicos propios de la titulación. Finalmente, el cambio metodológico también persigue un aumento en el rendimiento académico, que en el caso particular de las enseñanzas técnicas, está, en España, bastante por debajo de la media europea.

La Escuela Politécnica Superior de Castelldefels (EPSC) imparte, desde el curso 2001-2002, la Ingeniería Técnica Aeronáutica, especialidad en Aeronavegación. Desde sus orígenes (en el año 1991) la EPSC se ha caracterizado por una fuerte vocación innovadora en cuanto a los métodos docentes. Así por ejemplo, el profesorado de la EPSC tiene una amplia experiencia en la aplicación de métodos de evaluación continuada, aprendizaje cooperativo y aprendizaje basado en proyectos. El hecho de que este tipo de métodos estén recibiendo una mayor atención, en el contexto de la adaptación al EEES, hace que la EPSC se encuentre en la actualidad en una posición privilegiada, como centro de referencia en materia de innovación docente. No en vano, la EPSC ha recibido en los últimos años diversas muestras de reconocimiento externo, como por ejemplo, el premio Flyer al mejor centro de formación aeronáutica, otorgado por el Colegio de Oficial de Ingenieros Aeronáuticos de España, la Generalitat de Catalunya, el Ajuntament de Barcelona, AENA, y diferentes empresas del sector aeronáutico.

Éste trabajo presenta una nueva actividad docente desarrollada en el seno de la asignatura de Técnicas Experimentales en la Ingeniería Aeroespacial. Se trata de una asignatura de tipo optativo, ofertada en el último año de la titulación, que tiene como objetivo realizar una serie de trabajos prácticos que ayuden a complementar y sedimentar los conocimientos adquiridos a lo largo de los cursos anteriores. Así pues, la

asignatura se descompone en diferentes actividades o prácticas independientes que tratan diferentes aspectos de la ingeniería aeroespacial y es una de estas actividades la que se presenta a continuación. Dicha actividad bautizada como *Model Rocket Workshop*, consiste en el estudio teórico, construcción y lanzamiento de un pequeño cohete y es un ejemplo que ilustra perfectamente la apuesta decidida que ha hecho la EPSC por los métodos de innovación docente.

2.- OBJETIVOS

Mediante la actividad experimental *Model Rocket Workshop* se pretende en esencia que los alumnos se desenvuelvan de la forma más realista posible, salvando las diferencias, a como harán en el desarrollo de su labor profesional como ingenieros técnicos aeronáuticos, en todo lo referente a métodos de trabajo e identificación y análisis de problemas y soluciones, de aplicación a un caso particular como es el diseño y construcción de un cohete y el procesado de la información adquirida por su carga útil.

Con la participación en el *Model Rocket Workshop* se fomenta en el alumnado no solamente el desarrollo de las obvias habilidades teóricas y prácticas propias del sector espacial (conocimientos sobre lanzadores, propulsión con motores cohete, etc.) sino también, de forma simultánea, el desarrollo de habilidades transversales, completamente imprescindibles en el futuro desempeño de su profesión, como son el trabajo en equipo, la capacidad de liderazgo, la expresión oral y escrita con objeto de transmisión de conocimientos, el autoaprendizaje, documentación, etc.

A esto se debe añadir el hecho que tanto la documentación de que disponen los alumnos como las presentaciones realizadas por los profesores (salvo la primera, la presentación de la actividad) son en inglés. Asimismo, los informes a presentar por el alumnado deben ser redactados en inglés, de nuevo tratando de emular con la mayor veracidad posible el entorno de trabajo real en una agencia espacial.

En cuanto a los objetivos concretos de la actividad, a completar por cada grupo de trabajo, cabe destacar, en primer lugar, el diseño, construcción y lanzamiento de un modelo de cohete a escala reducida. Los equipos y materiales a emplear a lo largo del taller son simples y pueden encontrarse fácilmente.

El fin último de esta práctica es el de comparar los resultados teóricos obtenidos por integración de las ecuaciones que gobiernan el vuelo del cohete, con los resultados experimentales proporcionados por un altímetro que viajará a bordo del cohete, emulando el papel que desempeña en las misiones reales la carga de pago puesta en órbita por los lanzadores. El software necesario para la obtención de los resultados teóricos es de uso ampliamente extendido en el ámbito docente y profesional (MATLAB®) del que la Universidad posee una licencia flotante.

3.- METODOLOGÍA

La actividad *Model Rocket Workshop* se basa, a grandes rasgos, en la estrategia metodológica formativa que recibe el nombre de *Puzzle de grupos*. En su formato más genérico, dicha estrategia consiste en dividir la materia en partes aproximadamente iguales en dificultad y extensión, de modo que cada miembro del grupo de trabajo (que de aquí en adelante se llama grupo básico) selecciona una.

Para tratar su parte, cada miembro se reúne con aquellos miembros de los otros grupos básicos que han seleccionado la misma parte de la materia, constituyendo así unos grupos paralelos de trabajo que reciben el nombre de grupos de expertos, de los que hay tantos en número como partes.

Cuando han terminado su trabajo, los expertos retornan a sus grupos básicos y asumen de forma sucesiva el papel del profesorado, transfiriendo el conocimiento de su área de especialización al resto de componentes de su grupo básico, de tal modo que, al finalizar la actividad, cada miembro del grupo básico debería haber asimilado los conocimientos de cada una de las partes a pesar de no haber trabajado en ella de forma directa. Así, el éxito de cada miembro del grupo básico es el éxito de todos los miembros.

Por otro lado cabe destacar que, con el fin de organizar y evaluar esta actividad, muy similar conceptualmente a un proyecto de ingeniería, se ha usado una herramienta de software libre llamada *dotproject*. Esta herramienta es una plataforma WEB instalada en un servidor de la escuela y accesible a través de internet tanto para profesores como para los estudiantes.

La plataforma está diseñada y pensada para gestionar proyectos y proporciona las funciones clásicas de este tipo de software como son la creación de tareas, asignación de trabajadores y/o recursos, monitorización del estado del proyecto, almacenamiento de registros de trabajo etc. Pero además, el hecho de ser una aplicación WEB instalada en un servidor proporciona adicionalmente una serie de funcionalidades de gran valor, especialmente para el trabajo cooperativo y el aprendizaje a distancia. Por ejemplo, se dispone de un repositorio de ficheros que permite entre otras cosas la creación de foros de debate, la posibilidad de recibir todo tipo de notificaciones por correo electrónico, la gestión de diferentes permisos de usuario etc.

Gracias a estas capacidades, la herramienta ha podido ser utilizada para la monitorización del trabajo de los diferentes grupos básicos y para la coordinación, organización y comunicación entre profesores y alumnos y entre miembros de un mismo grupo de trabajo, para la entrega de los informes parciales para la evaluación continuada del alumnado, transferencia de resultados, etc.

4.- DESCRIPCIÓN DE LA EXPERIENCIA

Como se ha mencionado anteriormente, la estrategia metodológica formativa *Puzzle de grupos* ha sido empleada como referencia básica a partir de la cual se ha diseñado la actividad. Sin embargo, dicha metodología ha sido asimismo alterada en ciertos aspectos para adaptarla a la naturaleza de la materia que se pretende enseñar y a los objetivos docentes definidos anteriormente.

El taller se desarrolla a lo largo de doce semanas aproximadamente, durante las cuales se realizan seis sesiones presenciales de dos horas de duración y otras seis sesiones no presenciales cuya duración es variable (de una a cuatro horas), en función de los objetivos parciales a completar en cada una de ellas. En la figura 1 se puede apreciar un Diagrama de Gantt que muestra la planificación temporal de la actividad *Model Rocket Workshop*. La planificación es estricta y sigue unos plazos y procedimientos claramente definidos, prueba de ello son los diferentes hitos que se pueden encontrar a lo largo del proyecto, fechas límite en las que se deben entregar resultados o informes parciales, etc.

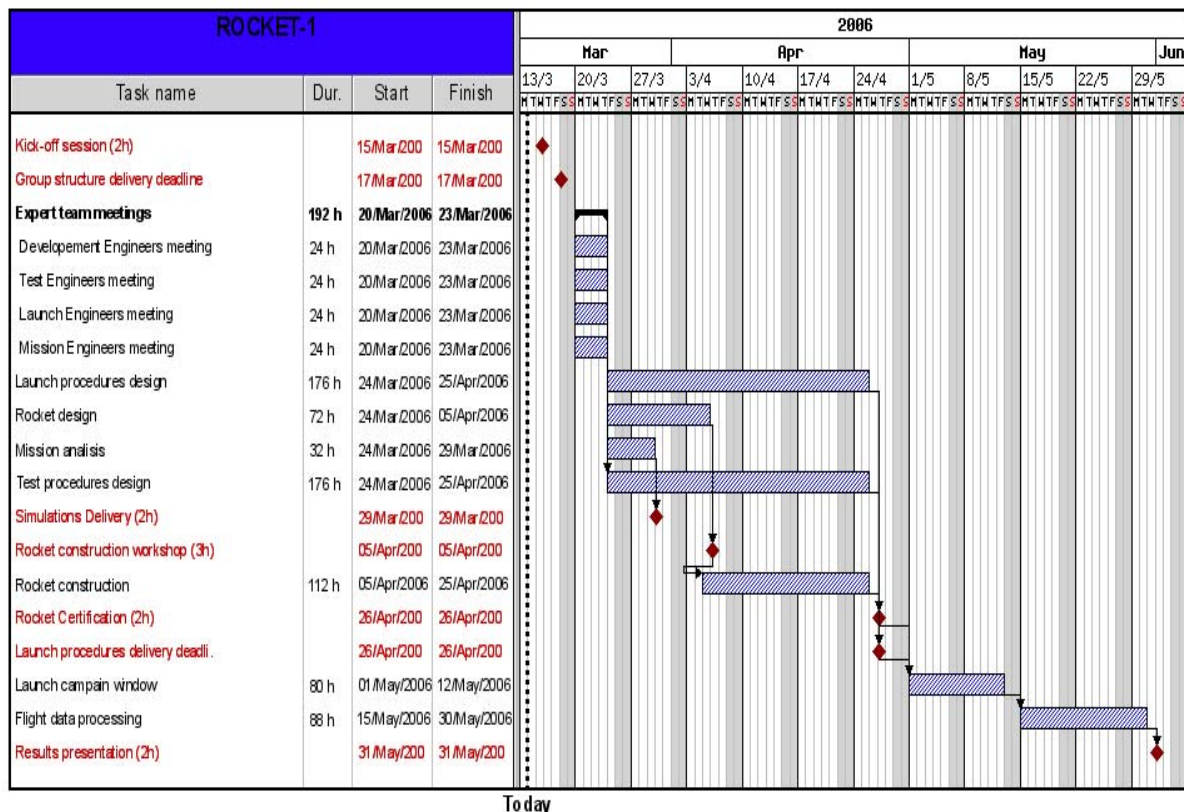


Fig. 1 Diagrama de Gantt: planificación temporal de la actividad *Model Rocket Workshop*.

Los profesores, en la primera sesión y tras una presentación de la actividad (que es la única en castellano), adoptan el papel de una empresa cliente, proporcionando información relacionada con los requisitos que debe cumplir la misión como punto de partida para los alumnos. Se supone que cada grupo básico de alumnos constituye un grupo de proyecto de una agencia espacial, encargado de planificar y realizar el diseño, la construcción y el lanzamiento de un cohete con los requisitos de misión que han proporcionado los profesores. En la tabla 1 se muestra una lista de los diferentes

equipos y materiales empleados para el correcto desarrollo de estas tareas. Para completar la lista de equipos utilizados a lo largo del *Model Rocket Workshop*, sólo falta añadir los equipos informáticos y el software para la integración de las ecuaciones que gobiernan el vuelo del cohete y para el procesado de los resultados experimentales. El software para la adquisición de los datos almacenados en los altímetros viene incluido en la compra de los mismos.

Descripción	Cantidad	Inventariable
Altímetros	5	Si
Rampa de lanzamiento	1	Si
Ignitor	1	Si
Anemómetro	1	Si
Cutters	5	Si
Sierras de marquetería	5	Si
Walkie-talkies	4	Si
Reglas	5	Si
Nivel de burbuja	5	Si
Pistolas de silicona	5	Si
Tijeras	5	Si
Balanza doméstica	1	Si
Motores cohete	10	No
Nose fairing	7	No
Fuselajes	7	No
Algodón ignífugo	1	No
Tubos silicona	5	No
Tubos de cola	5	No
Pajitas	2	No
Sábana térmica 2.50x1.15m	3	No
Cinta americana	2	No
Rollo de cinta adhesiva	2	No
Rollo de cordel	2	No
Madera de balsa	2	No
Sprays de pintura	5	No

Tabla 1 Inventario de material necesario para la realización de la actividad.

El resto de datos e información que pueda ser de utilidad para el alumnado, además de los ya facilitados, se encuentra disponible en la plataforma WEB *dotproject*: datos referentes a las prestaciones del motor cohete, código de seguridad universal en el lanzamiento de cohetes de aeromodelismo, etc. Como ya se ha mencionado, el uso de *dotproject* como herramienta para la gestión de proyectos tiene como objeto dar más realismo a la actividad y, con la misma intención, toda la documentación disponible en la plataforma así como la comunicación entre alumnos y profesores a través de ella se realiza en inglés.

En el diseño de la actividad *Model Rocket Workshop*, se decidió que los grupos básicos estuviesen compuestos por cuatro miembros, aunque, como se verá más tarde, el número es ampliable. Por lo tanto, de acuerdo con la metodología *Puzzle de grupos*, la materia se dividió asimismo en cuatro tareas.

Con objeto de simular con la mayor veracidad el entorno de trabajo real, la repartición de tareas dentro de cada equipo se hace de forma análoga a cómo se hace en las agencias espaciales, de modo que se han establecido los siguientes cuatro papeles o tipos de expertos, con sus respectivas responsabilidades claramente definidas:

- **Ingeniero de Misión:** Es el encargado de coordinar todas las tareas, resolver las ecuaciones del cohete y presentar los resultados una vez finalizada la práctica.
- **Ingeniero de Desarrollo:** Es el encargado de diseñar el cohete y liderar la construcción del mismo.
- **Ingeniero de Ensayo de Calidad:** Es el encargado de preparar y supervisar las pruebas de certificación del cohete propio y de acreditar las pruebas de calidad del cohete de un equipo distinto del suyo.
- **Ingeniero de lanzamiento:** Es el encargado de elaborar los procedimientos de lanzamiento del cohete, garantizando la seguridad del mismo, y de efectuar el lanzamiento propiamente dicho.

Para adaptar la actividad a grupos básicos formados por más de cuatro miembros, es posible ampliar la lista anterior con papeles adicionales como el de Ingeniero de Logística, etc.

A lo largo del taller, además del trabajo individual de cada alumno, tienen lugar las correspondientes reuniones de los grupos básicos, como por ejemplo la que tiene por objeto la repartición de las tareas, correspondiente a la primera sesión no presencial, así como reuniones para la puesta en común de los conocimientos adquiridos y para la transferencia de resultados, y las reuniones de los grupos de expertos, como por ejemplo la primera toma de contacto entre expertos para identificar y abordar de forma conjunta la problemática de sus respectivas responsabilidades, correspondiente a la segunda sesión no presencial.

Las reuniones de los grupos de expertos y de los grupos básicos constituyen un aspecto fundamental para el correcto desarrollo de las diferentes tareas, dado que las mismas exigen elevada interacción entre los miembros del grupo, debido a la interdependencia existente en los datos y resultados de unas y otras.

Con objeto de asegurar que las reuniones de expertos sean más productivas y provechosas y para disponer de más información a fin de proceder a la evaluación continuada del alumnado, se solicita a los expertos que entreguen, previamente a la celebración de las reuniones, informes escuetos sobre el trabajo que han realizado en relación a los puntos que se van a tratar en dichas reuniones. Tras ciertas reuniones se solicita también que se entreguen las actas con el trabajo realizado o lo acordado durante las mismas.

El trabajo de los diferentes grupos básicos debe materializarse en cuatro informes parciales y uno final con unas fechas límite de entrega claramente definidas. En caso de no realizar la entrega del informe en el plazo establecido, se puede denegar el permiso de lanzamiento del cohete. La entrega de los informes se realiza vía WEB a través de *dotproject*, donde los grupos básicos cargan los archivos con sus respectivos informes.

Los informes parciales a entregar son, por orden cronológico:

- **Informe sobre los resultados teóricos:** Altitud, velocidad y aceleración del cohete en función del tiempo, obtenidos mediante la integración de las ecuaciones que gobiernan el vuelo del cohete.
- **Informe sobre el diseño y construcción del cohete:** Planos del cohete, planificación de la construcción, etc. A entregar el día de inicio de la construcción del cohete.
- **Informe sobre los ensayos de calidad:** Diseño y planificación de los ensayos para la certificación del cohete (éste debe cumplir una serie de especificaciones de calidad previamente definidas y disponibles en *dotproject*, necesarias para garantizar un lanzamiento del cohete y un vuelo seguros). A entregar el día en que se realiza la certificación del cohete. Es importante destacar que para el diseño de los ensayos es necesario conocer los resultados teóricos actualizados con los datos reales del modelo de cohete una vez construido. Los resultados de las primeras simulaciones (que aparecen en el primer informe parcial) son aproximados puesto que para obtenerlos se han utilizado datos que parten de estimaciones, ya que el cohete aún no ha sido diseñado ni construido. Todas estas tareas exigen un alto grado de comunicación entre miembros del grupo básico.
- **Informe sobre procedimientos de lanzamiento:** Procedimientos que deben satisfacer en todo momento las recomendaciones del código de seguridad universal para el lanzamiento de cohetes.

Por último, en la sesión final se entrega el informe final en el que se resume el trabajo realizado por el grupo a lo largo de todo el taller y se incluyen como partes más relevantes el procesado de los datos experimentales recabados por el altímetro embarcado en el cohete (véase la figura 2) y la comparación de los mismos con los resultados teóricos calculados con anterioridad. El grupo debe realizar una exposición con los mismos contenidos que el informe final ante los profesores y todos sus compañeros. Al finalizar la presentación, el profesorado de la asignatura puede formular preguntas a los miembros del grupo básico para constatar que todos han asimilado los conocimientos asociados a cada uno de los diferentes papeles. La evaluación de la práctica se realiza de forma conjunta para todo el equipo en base a la calidad de los diferentes informes presentados a lo largo de la misma y en base a la calidad de la presentación final.

5.- RESULTADOS

Los lanzamientos de los modelos a escala se efectuaron el miércoles 24 de mayo desde un terreno emplazado en la localidad de Sitges. Previamente se había solicitado permiso al ayuntamiento de dicha localidad y al propietario del terreno para realizar tal actividad. Por otra parte, no es necesario solicitar ningún permiso especial a las autoridades de aviación civil (DGAC, etc.), ya que la altitud máxima alcanzada por los cohetes en ningún caso excede el límite de 1.000 pies (aproximadamente 300 m) y el emplazamiento está fuera de las zonas controladas por los servicios de tránsito aéreo.

Estos dos requisitos son los únicos que se aplican para el vuelo de modelos de cohete. La altitud máxima de vuelo de los cohetes había sido determinada con anterioridad mediante los cálculos teóricos, que fueron confirmados posteriormente por los datos experimentales. En la figura 2 puede observarse el instante en el que se produce la ignición del motor y el despegue de uno de los cohetes, mientras que en la figura 3 puede observarse el cohete en las proximidades del punto de máxima altitud. Tampoco es necesario disponer de ninguna clase de licencia para el uso de los motores cohete ya que se emplearon motores de categoría D y tan solo se necesita licencia para el empleo de motores de clase H o superior.



Fig. 2 Instante en el que se produce la ignición del motor y el despegue de uno de los cohetes.



Fig. 3 Cohete en las proximidades del punto de máxima altitud de su vuelo.

Durante la sesión de lanzamiento, la tensión y la emoción fueron palpables en cada grupo básico, llegando incluso hasta niveles análogos a los que se pueden observar en un lanzamiento real. Por un lado esto era natural dado que el lanzamiento del cohete era la culminación del arduo trabajo realizado en los meses previos, pero por otro lado demostró hasta qué punto los alumnos se habían involucrado en la preparación, en la construcción del modelo y en la fase previa a su lanzamiento. Nos gustaría señalar que los alumnos disfrutaron enormemente al ver que el resultado de esos meses de trabajo finalmente se alzaba y volaba de acuerdo a las previsiones teóricas.

Todos los cohetes fueron lanzados y recuperados con éxito, a pesar de que algunos paracaídas tardaron en abrirse y el descenso no fue todo lo suave que debiera haber sido. Asimismo se recuperaron intactos los altímetros del interior de los cohetes y se pudo transferir a un PC los datos adquiridos por los mismos durante el vuelo. En la figura 4 se puede apreciar el gráfico de altitud (en pies) frente a tiempo transcurrido (en segundos) que ha sido obtenido a partir de los datos extraídos del altímetro embarcado en uno de los cohetes.

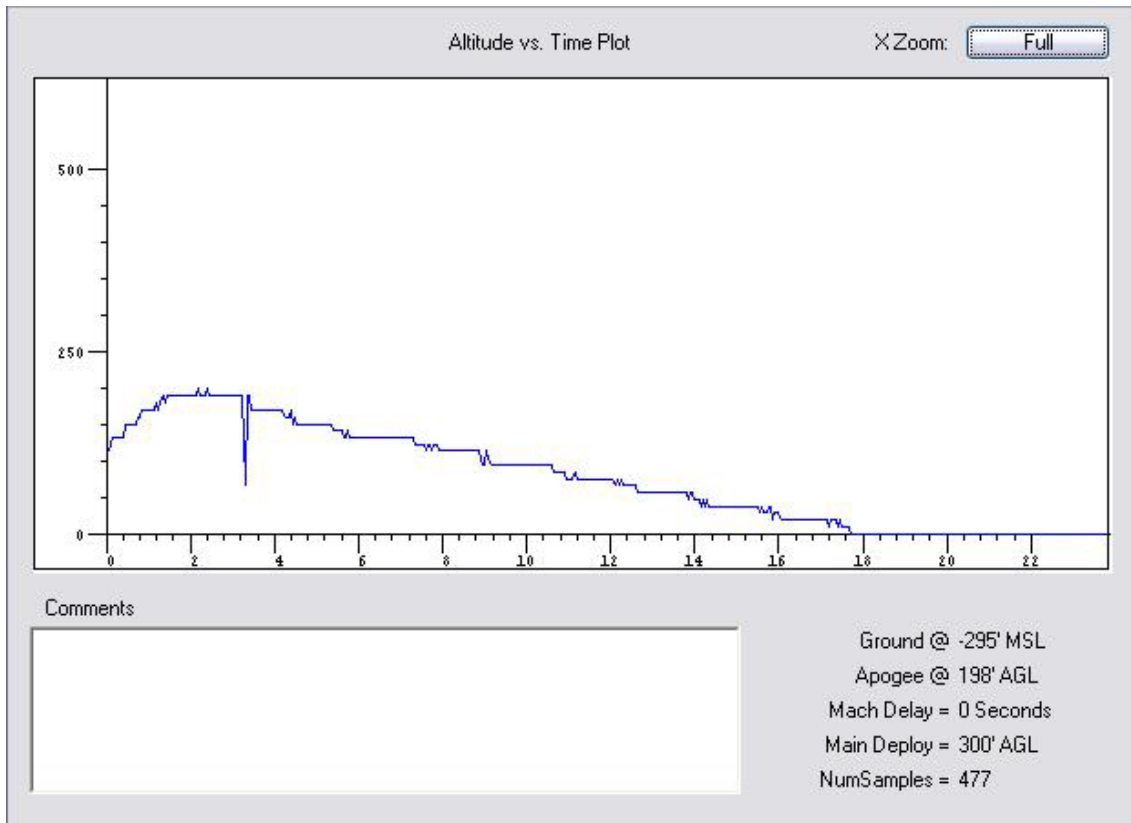


Fig. 4 Ejemplo de los datos de altitud (en pies) frente a tiempo transcurrido (en segundos), extraídos del altímetro embarcado en uno de los cohetes.

Tras valorar el desarrollo de la primera realización de la actividad *Model Rocket Workshop*, se considera que ésta ha sido un éxito tanto a nivel técnico como en lo referente a la implicación de la mayor parte del alumnado, que ha ido en clara progresión a lo largo de la asignatura. Como era de prever por tratarse de la primera edición, se ha detectado algunos fallos y se ha identificado posibles mejoras gracias a las opiniones de los alumnos y a las observaciones del profesorado durante el desarrollo del taller. Se prevé, por ejemplo, crear el papel de Ingeniero de Logística, que se ha comentado previamente, así como añadir un par más de criterios de certificación del cohete con el objetivo de mejorar la actuación de los cohetes durante el vuelo, en particular en la fase de recuperación del modelo.

6.- CONCLUSIONES

La actividad desarrollada ha permitido a los alumnos familiarizarse con el desarrollo de una misión espacial, habiendo tenido que discutir entre ellos cuales de los posibles papeles sugeridos por el profesorado de la asignatura se adecuaba mejor a sus características personales. Hemos encontrado que, en general, los grupos se han organizado de forma correcta y todos los alumnos han asumido de forma coherente el papel que tenían asignado. Además, los alumnos han podido experimentar de forma realista cuales son los intereses, a veces conflictivos, que hay entre potencia, peso, consumo... proporcionándoles de esta manera una visión extremadamente realista de las tareas que hubieran debido realizar en el seno de una agencia espacial. Asimismo han debido sintetizar y exponer públicamente los resultados parciales obtenidos durante



la elaboración del proyecto. Además han aprendido a trabajar bajo demanda, analizando los requisitos del cliente y contrastándolos con las características técnicas. Finalmente han aprendido determinadas normas de seguridad y control de calidad que en un entorno puramente académico difícilmente hubieran adquirido.

7.- REFERENCIAS

<http://www.noris-raketen.de/index.htm>

<http://www.apogeerockets.com/index.asp>

<http://www.jpcoheteria.com.ar/>

<http://www.estesrockets.com/>

<http://www.ictisp.com/~cortijos/>

<http://www.perfectflite.com/>

http://www.aia-aerospace.org/aianews/features/team_america/index.cfm

<http://www.rocketreviews.com/>

<http://www.rocketryonline.com/>