

# La cohetería experimental

## Una herramienta didáctica

Tabaré Pérez

Coordinador de A.C.E.M.U.

Asociación de cohetería experimental y modelista del Uruguay

acemu.org

tabare.perez@gmail.com

erabat.blogspot.com

Diciembre de 2007

### Resumen

Este es el texto correspondiente a la presentación realizada en las “VI Jornadas de educación en percepción remota en el ámbito del Mercosur” y las “I Jornadas uruguayas de educación en percepción remota” que se desarrollaron durante los días 22 al 24 de noviembre de 2007 en Montevideo, Uruguay.

PALABRAS CLAVE : EDUCACIÓN DIDÁCTICA COHETERÍA EXPERIMENTAL TECNOLOGÍA URUGUAY ACEMU SELPER

## Slide #1

Como coordinador de la Asociación de cohetería experimental y modelista del Uruguay quiero presentarles esta conferencia la cual intentaré cargarla de los elementos que, a mi entender, llenaron todo el espacio disponible en la época dorada de la conquista espacial :

- La exquisita sensación de estar haciendo algo considerado imposible.
- Una infinita cantidad de ingenuidad.

Mi homenaje a todos los hombres que permitieron acercarnos al espacio por su valentía intelectual.

Nací en 1961 y este hecho fortuito marcó, para toda mi vida, mi forma de ver el mundo.

## 1. Slide #2 y #3

Siendo muy pequeño, alguien me hizo escuchar una grabación muy extraña.

Eran silbidos.

Cuando me dijeron que venían desde el espacio y que los generaba un vehículo lanzado por el hombre, una revolución interna se apoderó de mí.

Me enteré que todo había comenzado en octubre de 1957 con el lanzamiento de un cohete ruso con el Sputnik 1 como carga útil: el primer satélite artificial.

## Slide #4

Es así que comienzo a conseguir información y aparece mi primera heroína: la perra Laika.

## Slide #5

Empiezan a aparecer los héroes históricos:

- Yuri Gagarin, primer cosmonauta en orbitar la Tierra.
- Valentina Tereshkova, la primer mujer cosmonauta.
- Alan Shepard, el primer estadounidense en hacer un vuelo suborbital.
- John Glenn, primer astronauta en orbitar la Tierra.

Lo increíble es que eran héroes de carne y hueso: existían y hacían exactamente lo que me gustaría hacer a mí. Aún conservo el sueño de ser astronauta/cosmonauta y salir al espacio.

## Slide #6

Pero mis héroes especiales fueron, son y seguirán siendo los astronautas del Apollo XI:

- Comandante Neil Armstrong
- Piloto del módulo de comando Michael Collins
- Piloto del módulo lunar Edwin “Buzz” Aldrin

## Slide #7

Esa madrugada del 20 de julio de 1969 quedará grabada para el resto de mi vida así como también la histórica frase pronunciada por Armstrong. Esas imágenes fantasmales aún hoy me emocionan cada vez que las veo.

## Slide #8

Otro aspecto que siempre me impacta es ver las increíbles máquinas voladoras extremas que permitieron concretar estas aventuras.

Para mí el ejemplo más hermoso es el cohete ruso R7 diseñado por el genial Korolev.

## Slide #9

Los frágiles Redstone y Atlas que permitieron a Estados Unidos asomarse al espacio.

## Slide #10

Un monstruo intimidante : El Saturno V del controvertido Von Braun. Esta “bestia” fue la responsable de poner al hombre en la Luna sin ningún accidente. Un record extraordinario teniendo en cuenta las dificultades tecnológicas de construcción y operación de semejante proyecto.

## Slide #11

Pero esta historia se remonta a muchos siglos atrás cuando el griego Architas construyó una paloma propulsada por vapor a presión. Es el primer vehículo a reacción que la historia registra.

Avanzando mucho en el tiempo, nos encontramos con Tsiolkosvsky.

Este maestro rural ruso desarrolló las primeras ecuaciones matemáticas que modelan el vuelo de un cohete. Estableció muchas de las pautas de diseño de la cohetería moderna.

Avanzando un poco más, nos encontramos con Goddard quien resolvió muchos problemas prácticos de la construcción de cohetes con combustible líquido.

Por la década del 30 del siglo XX, aparece Oberth que junto con ...

## Slide #12

... Von Braun, serán los padres de la cohetería moderna.

## Slide #13

Un poco de historia ...

Los chinos, inventores de la pólvora, fueron los primeros en aplicarla para la propulsión de flechas y cohetes de uso militar.

## Slide #14

Avanzando en el tiempo, llegamos a un diseño típico de cohete: el Congreve. Este tipo de cohete fue usado mucho militarmente y en aplicaciones de pirotecnia revreativa.

## Slide #15

Alrededor de 1930, en Alemania empiezan a aparecer clubes de coheteros amateurs como los que vemos en la foto. En la misma podemos ver dos generaciones de diseño de cohetes.

Vemos además a Oberth (sexto desde la izquierda con gabardina) y a un muy joven Von Braun (noveno desde la izquierda y de “pantalones cortos”).

## Slide #16

Muchos diseñadores trabajaron en esta prolífica época para la cohetería experimental.

El diseñador Tillin fue uno de los más originales. En la foto lo vemos con un cohete que aterriza planeando una vez que las aletas se transforman en alas en el apogeo del vuelo de este cohete. Una versión primitiva de los transbordadores.

## Slide #17

Pero fue la guerra la que provocó el gran salto hacia la cohetería moderna.

El desarrollo de la bomba alemana A-4 provocó la aparición de toda la tecnología necesaria para la construcción de cohetes operacionales.

En la foto podemos ver el despegue del primer cohete de combustible líquido operacional de la historia: la popularmente conocida V-2.

## **Slide #18**

Von Braun fue el responsable de que esto fuera posible y además evolucionó hasta poder construir motores como los que vemos en la foto. Son los famosos F-1 correspondientes a la primer etapa, llamada S-1C, del cohete Saturno V. Los motores más poderosos jamás construidos.

Debemos recordar que durante la segunda guerra mundial, una de las misiones estratégicas más importantes que realizó el gobierno de los Estados Unidos, fue la captura de la mayor cantidad posible de científicos y técnicos alemanes vinculados al desarrollo de cohetes. La operación se denominó PAPERCLIP. Es por ese motivo que Von Braun termina trabajando para la NASA.

Lo mismo sucedió con los soviéticos.

Ambas naciones capturaron muchos cohetes V-2 que rápidamente se transformaron en los cimientos de sus respectivos programas misilístico y espacial.

## **Slide #19, #20, #21 y #22**

Todos los grandes programas de cohetes estan basados en los anteriores trabajos que mostré. Se destacan fundamentalmente la familia europea Ariane, la estadounidense Delta, los cohetes chinos “Larga marcha” y por supuesto toda la serie de los bellísimos e imperiales Semioroka R7 de los rusos.

## **Slide #23**

Pero el hombre de la calle quería sentirse protagonista de esta aventura disponible solamente para una elite.

Es así que, por iniciativa de un zapatero de Nebraska llamado Orville Carlisle, surge el primer modelo de cohete para que cualquier persona pudiese estar en contacto con la “astronáutica en miniatura”. Junto con su hermano Robert, que era un muy buen pirotécnico amateur, desarrollan el “Rock-A-Chute Mark-I” . . .

## Slide #24

... y lo patentan en 1958.

Desde esa fecha hasta hoy, millones de personas han lanzado modelos de cohetes con todo éxito y seguridad gracias a los protocolos desarrollados para que la actividad sea segura.

## Slide #25

En cuanto a la “astronáutica en miniatura” podemos distinguir dos formas de trabajo:

**Modelismo** Se trata de la construcción de cohetes a partir de kits comerciales. Los motores también son comerciales siendo la única posibilidad de motorización del vector. La principal organización que regula esta actividad es la National Association of Rocketry (N.A.R.).

**Experimentación** Se trata de la construcción de cohetes a partir de los materiales disponibles. Esto incluye el diseño y construcción de motores. La principal organización que regula esta actividad es la Tripoli Rocketry Association.

**Richard Nakka** Es la persona referente en lo que tiene que ver al diseño y construcción de motores amateur.

## Slide #26

La cohetería amateur es tan peligrosa como nosotros lo permitamos. Si se siguen los protocolos, se transforma en una actividad muy segura.

El cohetero amateur toma a la **SEGURIDAD** como una actitud de vida.

## Slide #27

En agosto de 2006 decido fundar, junto con un grupo de amigos, la Asociación de cohetería experimental y modelista del Uruguay (A.C.E.M.U.) en respuesta a la siguiente inquietud:

En nuestro país es notorio (basta con mirar los informativos) que la ciencia y la tecnología no forman parte de los valores culturales que como sociedad manejamos. Esto se refleja en todos los ámbitos de nuestra vida. Frente a esta

situación siempre protesté muchísimo. Viendo que con solamente protestar no se lograba nada, decido empezar a trabajar en cohetería amateur para :

1. Concretar un viejo sueño personal.
2. Utilizar esta herramienta como mecanismo didáctico para interesar a los más jóvenes en temas científico-tecnológicos.

## Slide #28

Es así que en 2005 comienzo mi vinculación con la Asociación de cohetería experimental y modelista de Argentina. Gracias a su enorme colaboración empiezo a adquirir los conocimientos necesarios para poder divulgar esta actividad. En la actualidad, ambas asociaciones tienen un convenio de colaboración formando así la denominada “Comunidad cohetera del Plata” que engloba a los grupos que forman ambas asociaciones.

## Slide #29

Un cohete es un vehículo autónomo capaz de ascender a una altura determinada impulsado por la fuerza de reacción que produce la combustión del propergol (combustible) en la cámara de combustión del motor y que es transformada en energía cinética.

El motor produce el empuje necesario gracias a la fuerza de reacción que resulta de la eyección de la masa de gases abandonando la tobera a elevada velocidad (tercera ley de Newton).

Las características estructurales del motor deben ser tales que soporten la presión, la temperatura y la erosión producidas por la combustión que genera el empuje.

Para que todo este conjunto de fenómenos físico/químicos se produzca de forma satisfactoria, es necesario optimizar una serie de parámetros.

La optimización de cada parámetro se realiza usando un modelo matemático. Dicho modelo continuo (ecuaciones) es transformado en un algoritmo de cálculo discreto que nos da como resultado una aproximación al funcionamiento real.

Lo mismo sucede con las características aerodinámicas del cohete. Algoritmos adecuadamente probados nos permiten diseñar vectores cuya estabilidad de vuelo ha sido debidamente estimada.

El uso de estos algoritmos, que han sido extensivamente probados, aseguran un margen de predecibilidad, reproducibilidad y escalabilidad adecuados para la seguridad de esta actividad.

Pero . . . cómo es un cohete amateur?

Vemos en la imagen las partes que un cohete amateur tiene:

**Nariz u ojiva** Parte fundamental de la aerodinamia del cohete.

**Sección de carga** Zona del cohete en la cual se pueden embarcar distintas cargas de pago como por ejemplo experimentos.

**Acople** Pieza que permite la unión de distintas partes del fuselaje.

**Suspensor (shock cord)** Línea generalmente elástica que mantiene unidas las partes del cohete que se separan en el momento de la eyección del paracaídas.

**Paracaídas** Es el sistema de recuperación de todo el material que compone el vector. La idea es recuperar todo el material en perfectas condiciones para poder realizar muchos vuelos.

**Guía de lanzamiento** Proporciona en los primeros metros de propulsión del cohete una guía adecuada para que su vuelo no sea errático.

**Fuselaje** Contenedor aerodinámico de todos los subsistemas que componen a un cohete.

**Aletas** Ejercen la presión aerodinámica adecuada para que el cohete vuele en la dirección adecuada.

**Motor** Es el elemento que genera la propulsión. Contiene el combustible y posee una geometría adecuada de sus componetes para su correcto funcionamiento. Debemos recordar que un motor cohete clásico es una explosión controlada.

## Slide #30

En este slide podemos ver las fases de vuelo típicas de un cohete experimental:

**Despegue** Teniendo en cuenta las normas de seguridad adecuadas, se produce la ignición eléctrica del motor del cohete. Este está en una rampa sujeto a la guía de lanzamiento que le dará la estabilidad necesaria en el primer tramo del vuelo.

**Aceleración** El vuelo en esta etapa es acelerado. Los gases que escapan por la tobera impulsan, por reacción, al cohete.



**Vuelo inercial** Una vez que se consume el combustible se pasa al vuelo inercial en donde la única aceleración presente es la gravedad.

**Apogeo** Máxima altura alcanzada por el cohete. En este punto, un mecanismo provoca la eyección del sistema de recuperación del cohete.

**Descenso** El cohete desciende en forma controlada hasta tocar tierra.

**Recuperación** El cohete cae en algún lugar del campo de vuelo y es recuperado para volver a volar.

## Slide #31

Vemos ahora las fases de vuelo pero concentrándonos en el funcionamiento de un motor comercial para modelismo:

**Despegue y vuelo propulsado** La carga propulsora es encendida eléctricamente. Comienza una reacción química exotérmica que produce gran cantidad de gases. Los mismos son acelerados por la tobera y esto produce la reacción gracias a la cual el cohete vuela.

**Vuelo inercial** El combustible se ha quemado totalmente. Una carga no propulsiva comienza a quemarse durante un tiempo para que se desarrolle la etapa de vuelo inercial del vector.

**Eyección** Al final del quemado de la carga no propulsiva (delay) se enciende una carga que provoca la eyección del sistema de recuperación que es normalmente un paracaídas.

## Slide #32

Pero qué podemos hacer nosotros en Uruguay?

Se plantean muchas dificultades fundamentalmente por la falta de material comercial disponible. No hay a la venta ni kits ni motores comerciales que faciliten la práctica de esta disciplina. El lugar más cercano disponible es Argentina pero solamente podemos traer algún kit para el armado del cohete.

El paso de motores está expresamente **PROHIBIDO** y Argentina no exporta motores.

Es por eso que debemos ajustarnos a esta realidad y ver las posibilidades de desarrollo de la cohetería en el país.

## Slide #33

La primera opción muy interesante son los modelos estáticos de papel. Estos modelos están disponibles en internet y permiten construir con materiales muy baratos y fáciles de conseguir, modelos estáticos de cohetes. Los planos vienen preparados para ser impresos en hojas A4. Se recortan las piezas y se arman usando cola vinílica y mucha paciencia.

Es una muy buena herramienta didáctica para que los más jóvenes tomen contacto con la historia de la tecnología espacial.

## 2. Slide #34

Veamos una poderosa y muy accesible herramienta didáctica.

De lo estático, podemos pasar a lo dinámico con la construcción de los llamados “cohetes de agua” (water rockets). Se trata de cohetes contruidos con botellas de refresco descartables a las cuales se les colocan aletas y ojivas. Un orificio adecuado en la tapa se transforma en la tobera.

El “combustible” de este cohete es agua y aire comprimido. Llenando la botella con aproximadamente un tercio de agua e inflándola con un inflador de mano, al retirar el inflador y dejar libre el orificio en la tapa, el agua escapa a gran velocidad. Esta acción provoca la reacción igual y opuesta haciendo que el cohete vuele. Un cohete bien diseñado de este tipo fácilmente llega a los 60m de altura.

El único riesgo es una buena mojadura!!

Los que trabajen con este tipo de vectores se verán enfrentados a todos los problemas del vuelo de un cohete:

- Ubicación y tamaño de las aletas.
- Cantidad de agua óptima y presión para lograr la máxima altura.
- Diseño del sistema de recuperación.
- Construcción de la rampa de lanzamiento y del sistema de presurización.

Todos estos son problemas de gran contenido tecnológico y fundamentalmente de metodologías de trabajo.

## Slide #35

Avanzando un poco más, tenemos la construcción de modelos comerciales que normalmente usan motores de pólvora negra.

Este trabajo aumenta el desafío constructivo ya que son máquinas que vuelan a muy alta velocidad (300 km/h) y están hechos de cartón, madera de balsa y plástico.

Ya hice mención a las dificultades que existen en Uruguay para conseguir este tipo de material lo cual prácticamente descarta a la actividad al menos en lo que respecta a los motores.

Para los docentes argentinos vale aclararles que la firma Condortec dispone de una amplia variedad de kits y sus correspondientes motores.

## Slide #36

Y llegamos al paso más desafiante: la cohetería experimental.

En esta actividad el cohete es diseñado desde cero y a partir de los materiales disponibles en el entorno en donde nos movemos.

Es necesario hacer un buen relevamiento de todo lo que nos pueda servir para construir una máquina que, propulsada por motores experimentales, pueden andar pisando las velocidades supersónicas.

Existe una muy buena cantidad de material de apoyo como ser bibliografía, páginas web de coheteros de excelente nivel y software que nos van a permitir construir cohetes experimentales con los adecuados márgenes de seguridad.

En Argentina la experimentación está muy desarrollada y es A.C.E.M.A. quien coordina esta actividad. Posee toda la infraestructura adecuada para la práctica de la cohetería de media y alta potencia.

## Slide #37

Pasaré a comentar las actividades que A.C.E.M.U. viene desarrollando.

## Slides #38 y #39

Gracias a la gentileza del Director del Museo aeronáutico, el Cnel Rodríguez y al presidente de la Asociación de amigos del museo aeronáutico

(A.A.M.A.) Gustavo Necco, tuvimos la oportunidad de hacer nuestra presentación en sociedad durante los días 6 y 7 de octubre de 2007 en el marco del Día del patrimonio.

Fue una experiencia muy buena ya que la gran mayoría del público que visitó el museo se acercó a nuestra muestra y se mostraron muy curiosos con el tema.

### **3. Slides #40 y #41**

Por intermedio de mi amigo y compañero de viaje en esta aventura, Luis Auza, tuvimos la oportunidad de dar una charla de presentación del tema en el Colegio Pallotti para alumnos de tercer año de primaria.

Muy grata fue la sorpresa de interactuar con los niños. Sus preguntas muy acertadas, llenas de curiosidad y mucho sentido común fueron la nota destacada del día.

Miren las manos de la niña que está en primer plano del slide #41. Me estaba preguntando sobre temas de performance de los cohetes de agua sin haber estado nunca en contacto con esa tecnología.

Muy alentador!!!

### **4. Slide #42**

Una de las actividades más importantes para la cohetería es el manejo de materiales compuestos.

En esta oportunidad se fabricaron en fibra de vidrio (PRFV) dos piezas de transición para el cohete experimental de dos etapas de A.C.E.M.A. llamado Actitud II.

Tal vez y ojalá la construcción de piezas para sistemas aeroespaciales sea una nueva industria para el Uruguay.

### **Slide #43**

Un punto clave es el desarrollo de la aviónica. Esto significa el diseño y construcción de la electrónica de control de vuelo del cohete.

Junto con un grupo de colegas argentinos formamos un grupo llamado **DMTC3** el cual desarrolló un altímetro. Dicho altímetro tiene las siguientes características:

- Plataforma de control basada en la línea de microcontroladores PIC.

- Sensor de presión absoluta.
- Interface hombre-máquina acústica y óptica.
- Detección de cohete en rampa.
- Detección de despegue.
- Detección de apogeo.
- Control de eyección de dos sistemas de recuperación (drogue y principal).
- Almacenamiento de la altura máxima lograda.
- Detección de aterrizaje.
- Conexión a computador externo por medio de interfase serial para la modificación de parámetros.

Todo el desarrollo es nuestro y lo dejamos a disposición de la comunidad cohetera para que sea usado. Esto permite acceder a una tecnología relativamente cara para el medio a costo de los componentes y el tiempo de ensamblado.

En estos momentos se están ensamblando más de 49 unidades lo cual nos va a permitir evaluar y eventualmente efectuar modificaciones al firmware de control en función de su comportamiento en vuelo. A medida que más unidades vuelen, más información tendremos disponible para efectuar las modificaciones.

En una primer comparación con el material comercial, se comprobó que su funcionamiento es similar a estas unidades de mucho mayor costo.

Un orgullo para la región.

## Slide #44

Otro desarrollo importante es este motor que usará el clásico combustible de los coheteros amateurs: el llamado candy.

El cálculo de este motor se hizo con la planilla desarrollada por Richard Nakka nuestro “guía espiritual” en cohetería. Es el referente en el tema de motores amateurs. Su página personal es una muestra de trabajo profesional y generosidad en los conocimientos. Todo un ejemplo.

El tallado mecánico estuvo a cargo de los talleres de la Fuerza Aérea Uruguaya. Quiero agradecer al Cnel. Antonio Alarcón por apoyar este proyecto desde el inicio y haber permitido realizar este importantísimo trabajo.

Nos queda por delante realizar varias pruebas estáticas del motor para comprobar su buen funcionamiento. Este es un motor que ya ha sido probado con éxito en Argentina y lo estamos tomando como un standard de motorización de media potencia.

## Slide #45

Junto con el motor se está trabajando en la fabricación del combustible.

El combustible amateur por excelencia es el denominado candy ya que en su fabricación se suelen utilizar azúcares de diferentes tipos.

Para ello hemos modificado una freidora a la cual le adaptamos un PLC que se encarga de controlar la temperatura de la misma. Dicho control es muy importante en la fabricación del combustible.

En la foto inferior vemos el resultado del uso de dos tipos de azúcares diferentes: sorbitol y dextrosa.

## Slide #46

Desde el año 2005 venimos participando en jornadas de lanzamientos en Argentina más precisamente el San Vicente, provincia de Buenos Aires.

Dentro de las interesantes actividades que se desarrollan en ese campo de vuelo es de destacar el Programa CanSat.

Este programa tiene por objeto

“adaptar y trasladar en varias etapas una experiencia simple y exitosa realizada en escuelas y universidades de los Estados Unidos, y que consiste básicamente en volar en cohetes de aficionado ciertos paquetes de carga útil suministrados por integrantes de la comunidad educativa de especialidades no necesariamente relacionadas con la actividad aeroespacial.”

según la definición que aparece en la página de ACEMA.

En EEUU esta experiencia consistió en reunir a los aficionados a la cohertería y a escuelas y universidades estadounidenses (luego se incluyó a otras naciones, como Japón) con el fin de compartir actividades y conocimientos entre la comunidad educativa, los aficionados a la cohertería y la industria.

En el slide vemos dos ejemplos de proyecto CanSat:

**BioSat** Contenedores estériles que se abren en el apogeo del vuelo de un cohete para tomar muestras de bacterias a diferentes alturas para luego

cultivarlas e identificarlas.

**Acelerómetro** Contenedor con un acelerómetro mecánico construido en base a un resorte y una masa conocida. Una pluma marca la máxima aceleración lograda en el vuelo.

En el centro vemos la foto del vuelo del cohete experimental Sonda-I diseñado con el propósito de embarcar los experimentos antes mencionados.

## **Slide #47 y #48**

Llegamos a las conclusiones.

El texto de los slides ya es suficiente como explicación.

## **Slide #49**

Muchas gracias por haber llegado hasta acá y adelante que se puede!!