

COHETES DE AGUA: HASTA EL INFINITO Y MÁS ALLÁ WATER ROCKETS: FLY ME TO THE MOON

Juan Carlos Martínez Hernández*

juancmar@gmail.com

Irene SanchisCampreciós*

irenesanchisprofe@gmail.com

*I.E.S. Francesc Tàrrrega (Vila-real, Espanya)

Resumen.

Construimos un cohete de agua y queremos que despliegue un paracaídas cuando comience a caer para amortiguar el impacto de la caída. Queremos poder experimentar con la cantidad de agua y la presión introducida, con lo que la altura de vuelo y el tiempo de ascenso será variable. Para ello necesitamos un dispositivo que sea capaz de detectar el momento en el que el cohete entra en caída libre y activar un servo motor que libere el paracaídas. Al mismo tiempo encenderá un led rojo que facilite la localización del cohete y nos permita saber si ha detectado la caída libre durante los ensayos.

Palabras clave. Arduino, acelerómetro, cohete, agua.

Abstract.

We have a water rocket and we want to deploy a parachute when it starts to fall in order to lessen the impact of the fall. We want to be able to experiment with the water amount and the pressure in the rocket, so the altitude of the flight and the rise time will be variable. To achieve that, we need a device able to detect the exact moment when the free fall starts and to activate a servo to free the parachute. At the same time, it'll put a red led on to ease the rocket location and to let us know if it detected the free fall while testing.

Key Words. Arduino, accelerometer, rocket, water.

1. INTRODUCCIÓN

Los cohetes de agua se vienen utilizando en docencia desde hace varias décadas. La construcción y lanzamiento del cohete de agua resulta divertida y didáctica a la vez. Desde su versión más básica en la que se estudian las propiedades de gases y líquidos o las leyes de Newton y de la cinética, hasta versiones más completas para los estudios pre-universitarios, donde se puede profundizar en el régimen de fluidos, controlar los parámetros para maximizar el tiempo o programar simuladores de vuelo en hojas de cálculo.



Figura 1. Vista del lanzamiento

Esto permite unir ciencia y diversión, así como trabajar con todo tipo de estudiantes, desde grupos de alumnos de necesidades especiales hasta jóvenes que van a iniciar sus estudios en la universidad.



Figura 2. Varios modelos de cohetes

En este trabajo se ha pretendido dar un paso más y extenderlo al área de la electrónica y la robótica, adaptando un sistema automático para la apertura de un paracaídas y así poder adaptarlo a asignaturas como "Tecnología" o, como ha sido el caso en el curso escolar 17-18, a alumnos de la Formación Profesional Básica de Electricidad y Electrónica, particularmente en la asignatura de "Equipos Eléctricos y Electrónicos".

Tras la experiencia docente llevada a cabo, se puede asegurar que el proyecto de cohetes de agua cumple tanto los requisitos técnicos (robótica, electrónica, física), como el de divertir a los alumnos y alumnas y mantenerles motivados en todo momento.

El proyecto ha durado todo el curso. Se empezó en el primer trimestre con la construcción de cohetes sencillos y unos primeros lanzamientos que sirvieron para animarlos. Gracias al carácter práctico de la asignatura, a lo largo del segundo trimestre, en el taller construyeron las lanzadoras de los cohetes, una por equipo.



Figura 3. Lanzadora

En este segundo trimestre, con estas lanzadoras y nuevos cohetes se realizaron los estudios necesarios para presentarse al I Concurso de Cohetes de agua del Planetario de Castellón.



Figura 4. Cartel del concurso del Planetario de Castellón

Los trabajos para poder presentarse al concurso incluían el estudio de la parte física, siguiendo la metodología científica, se planteaban hipótesis y se estudiaban los parámetros que podían afectar al vuelo. Todos los trabajos están disponibles para su consulta en el blog del profesor (http://mestreacasa.gva.es/web/sanchis_ire2/water_rockets).

Es a lo largo del tercer trimestre, cuando las bases físicas de funcionamiento de los cohetes de agua están muy trabajadas, que se pasa a completar el proyecto con un automatismo de apertura del paracaídas.

Se dan tres opciones, un circuito eléctrico con interruptor de nivel, un segundo circuito electrónico con temporizador de retardo de encendido 555 y por último un circuito programable con Arduino (robótica). En este artículo se explicará la última experiencia y se pretende dar una guía básica de cómo construir este circuito y programarlo en Arduino.



Figura 5. Interruptor de nivel para el circuito eléctrico

Decidimos utilizar un "Arduino Nano V3" como controlador para nuestro dispositivo por su fácil disponibilidad y programación. Además dispone de múltiples librerías *open source* para controlar tanto el servo como el acelerómetro.

En cuanto al servo, un pequeño servo 9g será ideal por su reducido tamaño y poco peso, mientras que tiene suficiente torque para activar el mecanismo de liberación del paracaídas.

Finalmente, el acelerómetro será un ADXL345 montado sobre una placa GY-291 por su reducido tamaño y precio, ligereza, disponibilidad y porque dispone de una interrupción capaz de detectar la caída libre. Además Arduino dispone de varias librerías para integrarlo en el software.

2. COMPONENTES

Tabla 1
Componentes del dispositivo

Cantidad	Componente
1	Arduino Nano v.3
1	Acelerómetro ADXL345 (placa GY-291)
1	Micro servo 9g
1	Interruptor de placa
1	Led rojo de 5mm
1	Resistencia de 220 Ohm
1	Regleta de tornillo para placa PCB
1	Placa PCB perforada de 5x7cm
2	Filas de Conectores Dupont hembra para placa PCB
3	Conectores Dupont macho para placa PCB (pin headers)
1	Pila 9V
1	Conector para pila 9V

3. HERRAMIENTAS NECESARIAS

Tabla 2
Herramientas para la placa

Cantidad	Componente
1	Soldador de estaño
1	Bobina de estaño
1	Pasta para soldar o flux
1	Lupa

4. DESCRIPCIÓN DE COMPONENTES

□ Arduino Nano v3: es una placa con multitud de entradas y salidas programables que utilizaremos para leer los datos del acelerómetro y controlar el servo y el led. Su fácil disponibilidad, facilidad de uso y programación junto con su reducido tamaño la hacen ideal para proyectos como el expuesto.

□ ADXL345: es un acelerómetro de tres ejes que mide fuerzas de aceleración tanto en los ejes X, como Y como Z (izda/dcha, delante/detrás; arriba/abajo). Hemos elegido este acelerómetro montado sobre una placa GY-291 por su fácil disponibilidad y su reducido precio. Dispone de varias interrupciones que se activan al detectar uno o dos golpes (tap y doble tap) o la caída libre. Se puede comunicar de varias maneras con Arduino. Nosotros utilizaremos el protocolo I2C porque nos permite leer los valores con tan sólo dos cables. Para ello deberemos alimentar el pin CS con la tensión de alimentación del acelerómetro (3.3V)

□ Micro servo 9g. Pequeño servo que puede ser alimentado directamente por la salida 5V de Arduino. Fácilmente disponible.

□ Interruptor de placa. Para poder apagar y encender el circuito a voluntad. Además la única manera de rearmar el circuito es apagarlo y volverlo a encender. En nuestro caso hemos utilizado un conmutador (porque es de lo que disponíamos), pero funcionaría cualquier interruptor.

□ Led rojo 5mm. Ideal para conectarlo en serie a la resistencia de 220 Ohm y que indique la detección de caída libre

□ La regleta de tornillo nos servirá para conectar la alimentación del sistema

□ La placa PCB es una forma sencilla y robusta de dar soporte a todos los componentes y realizar el circuito. El resultado es más limpio y profesional con un circuito impreso, pero el proceso complica bastante la fabricación de la placa.

□ Los conectores Dupont hembra para placa PCB los utilizaremos a modo de zócalo tanto para el Arduino como para el acelerómetro. De este modo evitaremos sobrecalentar estos componentes y además permitiremos su rápida y sencilla sustitución en caso de avería.

□ Los conectores Dupont macho los utilizaremos para realizar una salida a la que conectar el servo.

5. EL CIRCUITO

Montaremos el circuito siguiendo el siguiente esquema.

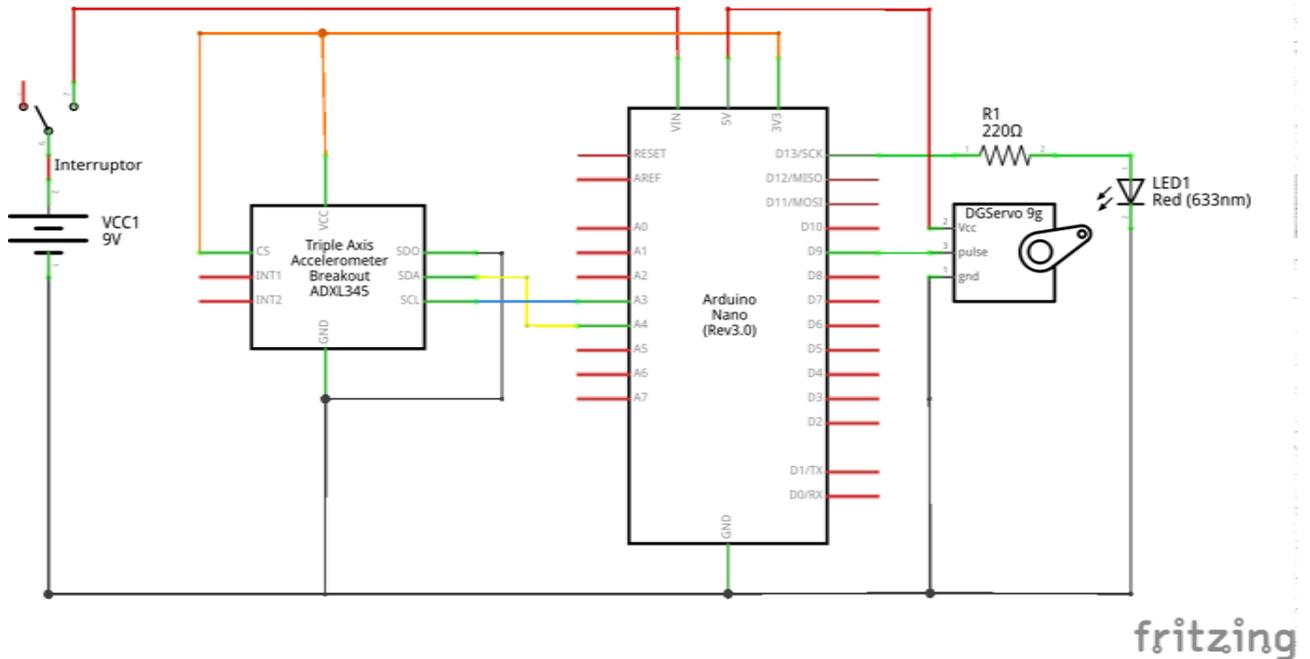


Figura 6. Esquema del circuito

6. MONTAJE DE LA PLACA

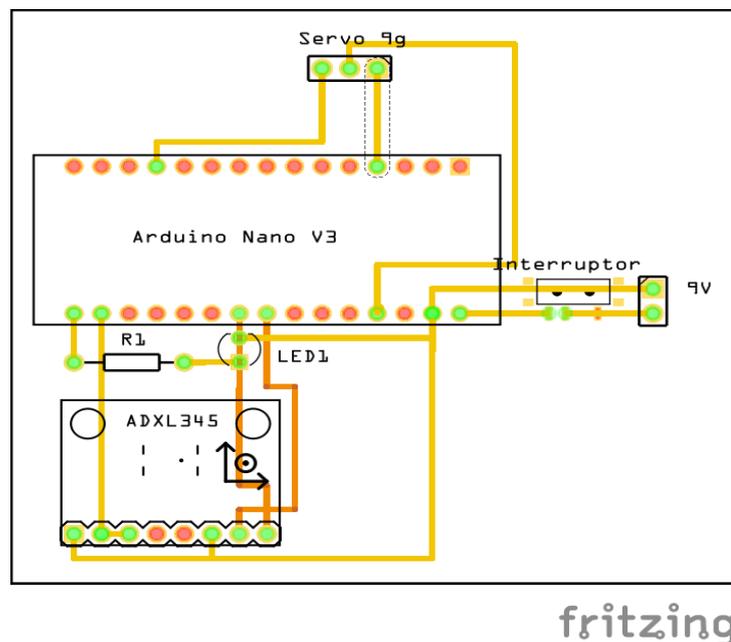


Figura 7. Esquema de la placa PCB

Para montar la placa deberemos colocar los componentes de modo que no se crucen las pistas, puesto que cuantos menos cables utilicemos más robusto y elegante será el resultado. Nosotros hemos utilizado la disposición de la *Figura 6* que nos permite hacer todo el montaje con tan sólo dos cables (pistas de color naranja)

Lo más sencillo es comenzar por los dos componentes principales: el Arduino y el ADXL345.

Para el Arduino se cortan las tiras de pines hembra para poder tener dos filas de 15 pines. A continuación se insertan en los pines del Arduino Nano y se colocan en su lugar en la placa. Esto es para tener las dos filas de pines perfectamente rectas. A continuación se le da la vuelta a la placa y se suelda el primer y el último pin de cada fila. Después, con muchísimo cuidado y sujetando las tiras de pines para que no se salgan de la placa (2 soldaduras es suficiente para sujetarla, pero no para resistir tirones), se debe desconectar el Arduino para no dañarlo. Ahora que las filas de pines ya están en su sitio se sueldan el resto de pines.

Con el ADXL345 cortamos de nuevo los pines para tener una tira de 8 y lo insertamos en el acelerómetro. Puesto que todos los pines están al mismo lado hay que suplementar el otro lado para que quede recto. Una vez recto y en su lugar soldamos el primer y el último pin, desconectamos (y corregimos si se ha torcido un poco) y soldamos el resto de los pines. Es importante fijarse en que hay un puente entre los pines 2 y 3 (VCC y CS).

A continuación se suelda el interruptor y la regleta de alimentación y se hacen las pistas que le den tensión al Arduino. Deberemos tener en cuenta cuál va a ser el polo positivo de la pila y conectar este a nuestro interruptor, y la salida del interruptor al pin *vin* del Arduino. El polo negativo va directo al pin *gnd* al lado del de la alimentación (*vin*). Para hacer las pistas lo ideal es colocar una gota de estaño en cada una de las islas y luego unir las entre sí. Es más fácil unir las cuando están frías, así que es mejor unir las primeras islas que se hicieron, mientras se van enfriando las últimas. Se aconseja unir las de dos en dos y después volver para unir los grupos de dos.

Ahora que ya está alimentada la placa Arduino (de hecho, si lo colocamos en su lugar y conectamos la alimentación, debería encenderse y apagarse según la posición del interruptor) se procederá a alimentar el acelerómetro. Para ello se debe hacer una pista entre la salida de 3.3V del Arduino hasta el segundo pin de la placa del acelerómetro (el que está puenteado con el tercero). Estos dos pines puenteados del acelerómetro son VCC y CS. También se tendrá que hacer una pista entre el negativo de la pila (en el caso del ejemplo se ha hecho desde el *gnd* del Arduino) hasta los pines *gnd* y SDO del

acelerómetro.

Con esto le llegará alimentación tanto al Arduino como al acelerómetro, pero aún no se podrán comunicar. Para ello deberemos conectar los pines A4 y A3 del Arduino (los estipulados para la comunicación I2C) con los SDA y SCL del acelerómetro. Es importante que A4 se conecte con SDA y A3 con SCL. Para unirlos se han utilizado dos cables, puesto que no se vio forma de unirlos con pistas sin que se crucen con las que ya se tenían.

Ahora tanto el acelerómetro como el Arduino están alimentados y se pueden comunicar, con lo que se ha terminado la parte de la entrada. Vayamos ahora a la parte de la salida: el servo y el led. Para poder conectar el servo se cortan tres pines macho y se sueldan en su lugar en la placa. Después se hacen las pistas: la salida 5V del Arduino (tres pines a la izquierda de *vin*) deberá llegar hasta el pin central del servo. El pin D9 lo uniremos mediante una pista al pin izquierdo y el pin *gnd* del Arduino (afortunadamente tenemos otra salida *gnd* en la misma fila de pines que D9) al pin que nos quedaba libre. A la hora de conectar el servo se ha de tener en cuenta que el pin naranja es la señal, con lo que deberá quedar a la izquierda, y el negro o marrón (dependiendo del servo) es el negativo, que es el que debe ir a la derecha (*gnd*).

Ya sólo falta el led. Para ello se une una resistencia de 220 Ohm al pin D13. Esta resistencia permitirá cruzar la pista del 3.3V. La otra punta de la resistencia debe ir al polo positivo del led (la pata larga) y el negativo del led a *gnd*.

Con esto ya hemos terminado la parte del hardware. Ya sólo nos queda el software. El resultado debería ser algo parecido a las figuras 3 y 4.

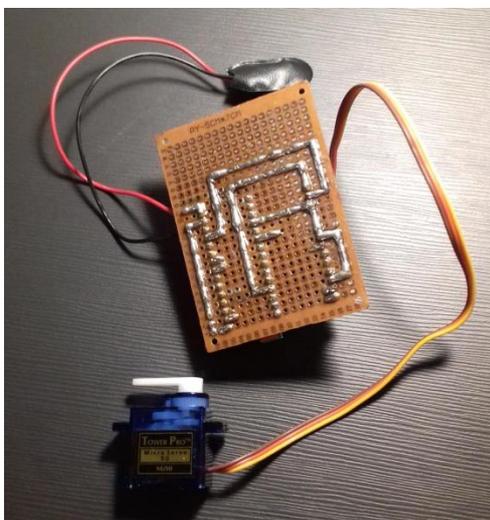


Figura 8. Vista superior del circuito

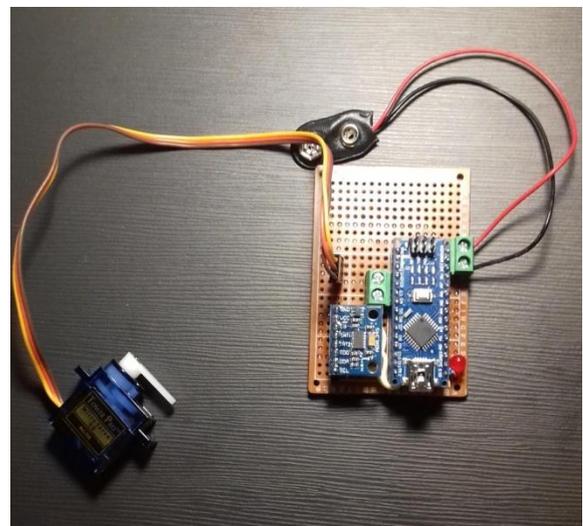


Figura 9. Vista inferior del circuito

La regleta verde que se ve entre el Arduino y el acelerómetro no tiene uso, por ello se ha omitido en este documento.

7. SOFTWARE

Arduino es una plataforma de muy sencilla programación. Para ello lo ideal es descargarse e instalar el IDE (entorno de programación) de su página web. Una vez se tiene instalado, el código a introducir es el siguiente.

```
#include<SparkFun_ADXL345.h> // Carga de librería para acelerómetro
#include<Servo.h> // Librería para servo

ADXL345 adxl = ADXL345(); // Comunicacion i2c
Servo miservo; // declaracion de servo
int led = 13; // El led en el pin 13
int cierra = 0; // El servo cierra a 0 grados
int abre = 180; // El servo se abre a 180 grados

// ***** SETUP *****
void setup(){

  miservo.attach(9); // servo en el pin9
  miservo.write(abre); // Una rotación completa para comprobar el servo
  delay(500); // retardo necesario para dar tiempo a que se abra.
  miservo.write(cierra);
  digitalWrite(led, HIGH); // Hacemos que el led parpadee tres veces para comprobar su funcionamiento
  delay (500);
  digitalWrite(led, LOW);
  delay (500);
  digitalWrite(led, HIGH);
  delay (500);
  digitalWrite(led, LOW);
  delay (500);
  digitalWrite(led, HIGH);
  delay (500);
  digitalWrite(led, LOW);

  adxl.powerOn(); // Encendemos el ADXL345

  adxl.setRangeSetting(16); // Definimos la amplitud de las medidas
  // Posibilidades: 2, 4, 8, 16, cuanto más alto el valor menor sensibilidad y mayor
  amplitud

  adxl.setActivityXYZ(0, 0, 1); // Activamos la actividad solo en el eje z (x, y ,z)
  adxl.setActivityThreshold(75); // Definimos el umbral de actividad (0-255)

  adxl.setInactivityXYZ(0, 0, 1); // La inactividad se detecta tb en el eje z
  adxl.setInactivityThreshold(75); // Definimos el umbral de inactividad (0-255)
  adxl.setTimelnactivity(10); // Segundos de inactividad para declararlo inactivo

  // adxl.setTapDetectionOnXYZ(0, 0, 1); // Detecta los taps en el eje Z

  // Establecemos los valores de lo que es tap y doble tap (0-255) ***** Sospecho que es eliminable en la versión
  definitiva
  adxl.setTapThreshold(50);
  adxl.setTapDuration(15);
  adxl.setDoubleTapLatency(80);
```

```
adxl.setDoubleTapWindow(200);

// Establecemos valores de lo que se considera caída libre (0-255)
adxl.setFreeFallThreshold(7); // recomendado (5 - 9)
adxl.setFreeFallDuration(30); // recomendado (20 - 70) 5ms por cada incremento

// Establecemos la interrupción del FREE_FALL al pin INT1.
adxl.setImportantInterruptMapping(0, 0, 1, 0, 0); //Mapeo de interr "adxl.setEveryInterruptMapping(tap, 2tap, caída, act,
inact);"
// Solo acepta valores 1 o 2 para los pins INT1 e INT2.
// Esta librería puede tener un problema con el pin INT2. Mejor usar el 1.

// Establecemos la actividad de las interrupciones (1 == ON, 0 == OFF)
adxl.InactivityINT(0);
adxl.ActivityINT(0);
adxl.FreeFallINT(1);
adxl.doubleTapINT(0);
adxl.singleTapINT(0);

// attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(interruptPin), ADXL_ISR, RISING); // Asignamos las interrupciones.
}

// ***** LOOP *****
voidloop(){

// Lectura del ADXL345. ***** Sospecho que este bloque es eliminable en la versión definitiva
intx,y,z; // variables para guardar los valores
adxl.readAccel(&x, &y, &z); // Lee el ADXL y guarda la lectura en las variables

byteinterrupts = adxl.getInterruptSource(); // Leemos las interrupciones y limpiamos las acciones disparadas

if (adxl.triggered(interrupts, ADXL345_FREE_FALL)){ // Si ha detectado una caída
  miservo.write(abre); // Abrimos el servo para liberar el paracaídas
  digitalWrite(led, HIGH); // Encendemos el led para que se note y para localizarlo mejor
}
}
```

El código está profusamente comentado, por lo que es autoexplicativo. Además contiene líneas que podrían eliminarse para reducir el tamaño del programa, pero hemos optado por incluir este código por estar ampliamente comprobado su funcionamiento y fiabilidad.

8. PARTE MECÁNICA

Tras esto queda la parte mecánica. Acoplar el circuito al cohete y diseñar el paracaídas y su mecanismo de disparo de manera que se pueda activar con el movimiento del servo, e integrarlo todo en el cohete.

En la siguiente imagen se puede ver el dispositivo terminado:



Figura 10. Vista del cohete con paracaídas terminado

A continuación se muestra una lista de los materiales utilizados en la construcción de la parte mecánica del proyecto. Todos los materiales son de una orientación y se pueden sustituir por otros, según disponibilidad, siempre que se mantengan los criterios de bajo peso y que no contenga bordes punzantes que puedan resultar peligrosos o desprenderse durante la caída.

Tabla 3

Materiales para la parte mecánica del cohete

Cantidad	Componente
3	Botella de bebida gaseosa 2 litros
1	Hoja de cartón pluma tamaño A4
1	Lámina de plástico corrugado tamaño A4
4	Ángulos de cartón
1	Paraguas para reciclar
1	Pelota de pin-pon
1	Plastilina 150 gr
8	Roscas y tornillos de métrica 4
1	Goma elástica
1	Cinta americana
12	Ojales
2	Arandelas de métrica 4
1	Cuerda fina

En cuanto a las herramientas necesarias son las que hay disponibles en cualquier taller de Tecnología en los institutos, excepto la remachadora de ojales, pero se pueden sustituir por simples agujeros en el plástico y reforzarlos con cinta (aunque en este caso no será una estructura tan resistente).

La idea es construir un cohete de agua clásico pero que en la punta del cohete lleve un lugar para el paracaídas y la placa, de forma que al comenzar a descender la placa detecta el cambio y acciona el servomotor, que al girar abre la compuerta, liberando el paracaídas, el cual se abrirá permitiendo una caída suave.

Se comienza construyendo la parte superior del cohete, que es la que tiene mayor complicación, donde va alojado el paracaídas y la placa de arduino. A una de las botellas se le corta justo debajo del tapón y a dos tercios de longitud se vuelve a cortar (calculado para que quepa el soporte del paracaídas y la placa).



Figura 11. Parte superior del cohete

A continuación se prepara el soporte, hay diversas opciones, en este caso, con el plástico corrugado se han cortado dos círculos y dos rectángulos ensamblándolo con los ángulos tal y como se puede ver en la imagen, de esta forma queda un apartado para el paracaídas, otro para la placa y en la parte superior se colocará la pila de 9V. Importante recordar realizar los agujeros para poder pasar los cables. La parte superior se termina con la plastilina y con la pelota de pin pon para proteger en caso de error en la apertura

del paracaídas y dar el contrapeso necesario. En la parte del paracaídas se colocará el trozo sobrante de la botella de plástico, de forma que funcionará de muelle que impulse la salida del paracaídas al abrirse la compuerta.



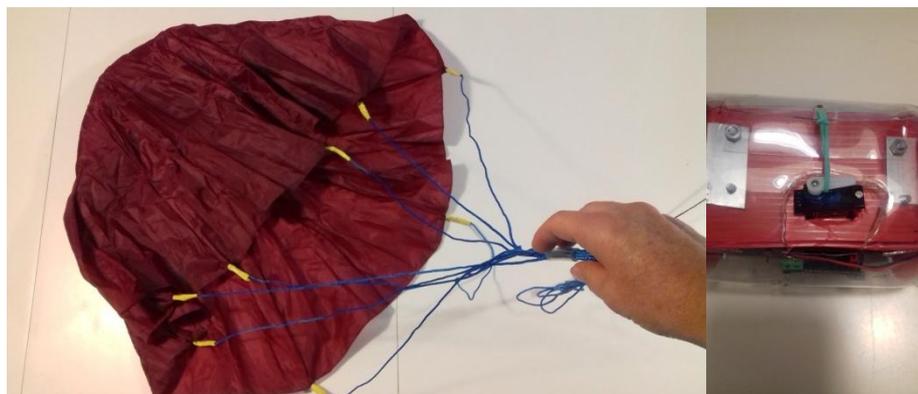
Figura 12. Imagen del muelle impulsor del paracaídas

Con la parte superior terminada, se continúa con la parte inferior, en la que se colocan las alas y la sujeción de la cuerda del paracaídas.



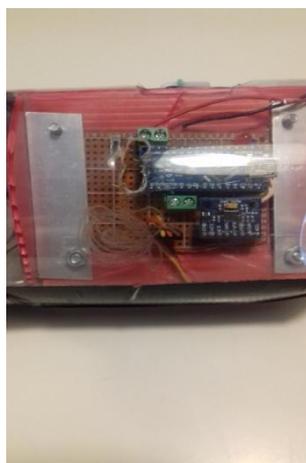
Figura 13. Parte inferior del cohete

En las siguientes imágenes se pueden ver varias partes del cohete:



A

B



C

Figura 14. A. Detalle del montaje del paracaídas; B. Mecanismo apertura;
C. Sujeción de la placa

Con esto queda el cohete terminado y listo para el lanzamiento. Esperamos que el artículo sirva para que todos los profesores y estudiantes puedan vivir esta emocionante experiencia de aprendizaje y llegar a nuestra misma conclusión: la ciencia también es divertida.

9. CONCLUSIONES

El lanzamiento de cohetes de agua es un proyecto que se ajusta al currículum científico y tecnológico de primaria, secundaria, bachirellato y ciclos formativos técnicos, según la orientación que se le de puede servir para cualquier nivel. Concretamente, este artículo se base en la experiencia con los alumnos de Formación Profesional Básica de Electricidad y Electrónica.

Los contenidos curriculares trabajados se ajustan al DECRETO 185/2014, de 31 de octubre, del Consell, por el que se establecen veinte currículos correspondientes a los ciclos formativos de Formación Profesional Básica en el ámbito de la Comunitat Valenciana. [2014/9990] en el módulo profesional: Equipos Eléctricos y Electrónicos, por citar alguno de los contenidos del currículum trabajados:

Proceso de montaje y mantenimiento de equipos:

- Simbología eléctrica y electrónica. Normalización.
- Interpretación de planos y esquemas.
- Identificación de componentes comerciales.
- Identificación de conectores y cables comerciales.
- Interpretación de esquemas y guías de montaje y desmontaje.
- Interpretación de esquemas y guías de conexión
- Interpretación de órdenes de trabajo.
- Elaboración de informes.

Componentes electrónicos, tipos y características.

- Funciones básicas de los componentes.
- Técnicas de montaje e inserción de componentes electrónicos.
- Herramientas manuales. Tipología y características.

- Técnicas de soldadura blanda. Aplicaciones más habituales. Precauciones a tener en cuenta.
- Utilización de herramientas manuales y máquinas herramientas. Seguridad en el manejo de herramientas y máquinas.
- Técnicas de montaje y ensamblado de equipos eléctricos y electrónicos.
- Montaje de elementos accesorios.
- Equipos de protección y seguridad.
- Normas de seguridad.

Tan importante como el trabajo de la parte curricular, es la parte emocional del proyecto. La forma en que el lanzamiento de los cohetes de agua motiva a cualquier estudiante de cualquier edad. Esta experiencia se ha centrado en alumnos de Formación Profesional Básica, con problemas de integración social. El poder terminar un proyecto como este y presentarlo a un concurso, les ayuda a confiar en ellos mismos y sus capacidades. Es una muestra de cómo el sistema educativo puede ayudarles. A lo largo de todos los años de trabajo con los cohetes de agua han participado alumnos de todas las edades, de secundaria a personas adultas, también encantadas con la experiencia.

La enseñanza está hecha de momentos en la que los profesores también aprendemos, os animamos a probar los cohetes de agua y vivir uno de esos momentos.



Figura 15. Imagen de un lanzamiento

10. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Finney G. (2000). Analysis of a water-propelled rocket: A problem in honors physics. *Am. J. Phys.*, 68(3), 223. <http://dx.doi.org/10.1119/1.19415>.

Littlewood E. T., Littlewood J. E. (1938). Some Remarkable Approximate Formulae Arising in Ballistics. *Proceedings of the London Mathematical Society*, s2-43(1): 324-336.

Tipler P. A., Mosca G. (2005). *Física para la ciencia y la tecnología I*. Ed. Reverte. 660 pp.

WEBGRAFIA

Sciencetoymaker

<http://www.sciencetoymaker.org>

NationalPhysicalLaboratory

<http://www.npl.co.uk/educate-explore/water-rocket-challenge>

Air CommandWaterRockets

<http://www.aircommandrockets.com>

Blog del profesorado autor/a del artículo

http://mestreacasa.gva.es/web/sanchis_ire2/water_rockets