



GRAVÍMETRO

Ismael Arias Arias, Cristina García Godino, Sara Gómez Montañez,
Javier González Sánchez, Irene Gordillo Sánchez y Merlin Daniel Siering de 2º Bach.

Profesor coordinador: José Antonio Navarta Ruiz

CLUB CIENTÍFICO BEZMILIANA

I.E.S. Bezmiliana. Urbanización Gran Sol s/n, C.P. 29730,
Rincón de la Victoria (Málaga).

www.clubcientificobezmiliana.org/blog clubcientificobezmiliana@gmail.com

INTRODUCCIÓN: Cuando tenía 23 años, Isaac Newton descubrió la fuerza de la gravedad. Cuenta la historia, que estando un día Isaac andando por su casa de Wiltshorpe, vio la luna, y se preguntó: "si la manzana cae, ¿la luna también cae?" y su respuesta fue, sí. Esta respuesta acabó con miles de años de especulaciones acerca del misterio del movimiento de los planetas.

Más tarde, en 1687, con la publicación de su *Philosophiæ Naturalis Principia Matemática* (posiblemente una de las más importantes obras jamás publicadas por el hombre), Newton inicia la física del universo, presentando modelos matemáticos con los que se podían analizar y deducir las fuerzas actuando tanto sobre planetas como sobre objetos cotidianos.

Así llegamos a la definición de gravedad. Es considerada una fuerza que experimenta un objeto que tenga masa; dicha masa sufrirá una aceleración dirigida hacia la zona central de dicho planeta (si el objeto no se ve sometido a otras fuerzas). Hoy en día, sabemos, tras muchos experimentos y demostraciones, que en la superficie de la Tierra, la aceleración causada por la gravedad es 9,80665 metros por segundos al cuadrado, aproximadamente.

En este trabajo nos hemos enfocado de manera más detallada en la gravedad, y os preguntaremos el porqué. Por diversos estudios se puede afirmar que el módulo de la intensidad del campo gravitatorio terrestre en un punto de la superficie del planeta (en este caso la tierra) coincide con el valor de la aceleración de la gravedad en dicho punto. O en otras palabras, coincide con la fuerza que nos mantiene unidos a la Tierra.

Esta atracción varía en orden de pequeñas unidades dado que no nos encontramos en un cuerpo esférico homogéneo, así factores como son la latitud, la forma propia del planeta, la topografía del terreno o la composición geológica hacen que la gravedad cambie.

Cosa que podemos ver de manera sencilla, así como el simple hecho de calcular la gravedad en un punto, basta con ver con qué aceleración caen los cuerpos en la Tierra. Y, para ello, podemos usar el gravímetro, el cual es un instrumento empleado para medir el campo gravitacional local de la Tierra. Es una especie de acelerómetro especializado en medir la constante aceleración descendente de la gravedad.

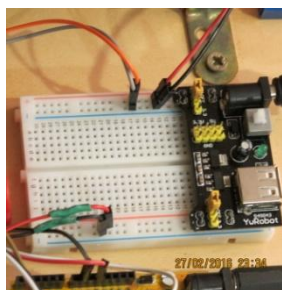
OBJETIVOS:

El objetivo básico ha sido responder a las preguntas que nos han ido surgiendo como: ¿Cuál es la aceleración con que caen los cuerpos en la Tierra? ¿Como la podemos calcular? ¿Cuál sería el mejor montaje? ¿Qué materiales necesitamos? ¿Cuáles pueden ser las posibles fuentes de error en las medidas? ¿Cómo corregirlas?...

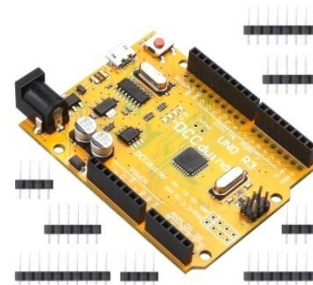
Y ya empezado el proyecto estudiar las nuevas tecnologías electrónicas e informáticas tanto de forma teórica como experimental a partir de la búsqueda de soluciones a los problemas que nos han ido surgiendo.

MATERIAL UTILIZADO:

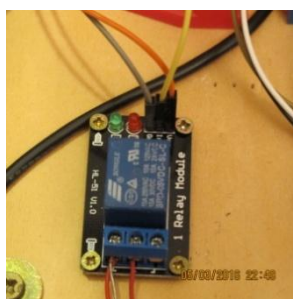
- Una madera contrachapada de 50x50 cm y 16 mm de grosor a partir de la cual hemos obtenido la base de la plataforma de forma triangular de 45x45x42 cm (donde hemos colocado la mayoría de los dispositivos) y la plataforma superior (12x24 cm) donde ha ido sujeto el electroimán.
- 2 listones de 50 cm de largo y de forma cuadrada 2x2 cm que nos ha servido para unir las plataforma base con la superior usando varios ángulos metálicos para fijarlos.
- Tapón circular de tubería de diámetro 5 cm y altura 2,5 cm que colocamos justo debajo del electroimán y que completamos con plastilina para amortiguar la caída de la bola.
- 3 patas regulables de 10 cm de altura que junto con el nivel nos han servido para nivelar la estructura.
- Nivel, para mantener la plataforma horizontal regulando con las patas.
- 1 tornillo de 10 cm de largo y 10 mm de diámetro que junto con 5 m de cobre lacado de sección 0,6 mm nos han servido para construir el electroimán. Finalmente encontramos la opción de usar de hilo de bobinado una bobina completa de 167 m de longitud y sección del hilo 0,2 mm (Por suerte no hubo que bobinarlo a mano pues sus 2 extremos estaban a la vista para su conexión).
- Una bola de acero de 1 cm de diámetro que se pega al electroimán y al caer nos permite medir el tiempo de caída y la aceleración de la gravedad.
- Un Diodo que hemos puesto invertido, en paralelo con el circuito del electroimán para prevenir las extracorrientes de ruptura y los posibles retardos en la caída de la bola.
- 2 fuentes de alimentación de 9 V (construidos con 2 cajas de 6 pilas de 1,5 V cada una) para hacer funcionar: El electroimán que se alimenta de la fuente de la izquierda (En la imagen), el arduino a 5 V y el adaptador a 5V de la fuente de alimentación de la derecha.
- 1 adaptador a 5 V que conectado a una fuente de alimentación de 9 V permite alimentar a su vez: el relé, la pantalla, el botón-pulsador y el diodo LED láser al insertar el cableado de conexión en la protoboard.



- 2 protoboards que nos han servido: Una para insertar la pantalla y crear los circuitos del botón pulsador y de los 2 potenciómetros que hemos usado para construir el regulador de contraste y el de brillo de la pantalla. La otra donde hemos insertado el adaptador de corriente a 5 Voltios y conectado, por circuito, todos los dispositivos que se han alimentado a través de él (Relé, pantalla, botón-pulsador y diodo LED láser)
- 3 interruptores para dar o cortar la corriente a los diversos dispositivos. 2 que cortan las fuentes de alimentación y el 3º en el adaptador a 5 V.
- 1 minicontrolador Arduino: que está conectado directamente al relé; además todos los dispositivos, salvo el diodo led láser, tienen conexión digital directa con el arduino a través de los pines digitales (El botón-pulsador→pin 7; pantalla→pines 12, 11, 5, 4, 3, 2; sensor láser→pin 8; relé→pin 6). Aparte el Arduino tiene una programación interna que hace que controle todo el sistema: Es quien recibe las informaciones del botón pulsador y el sensor láser y quien envía la señal al relé y a la pantalla, realizando también operaciones internas que le permite enviar información a estos dispositivos.



- 1 Relé de 5V que al recibir una señal del arduino (a través del pin 6) se desconecta cortando la corriente al electroimán y permitiendo que caiga la bola.



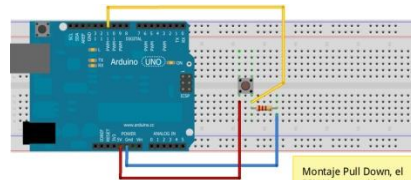
- 1 diodo led láser (emisor láser) de 5 V cuyo rayo al ser cortado por la bola al caer permite medir el tiempo de caída.



- 1 sensor láser (receptor láser) de 5 V que al pasar la bola corta el rayo del led láser y envía una señal al arduino por el pin 8.

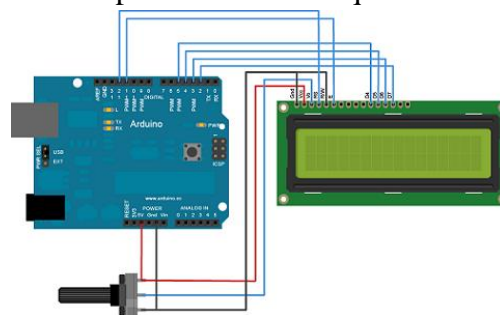
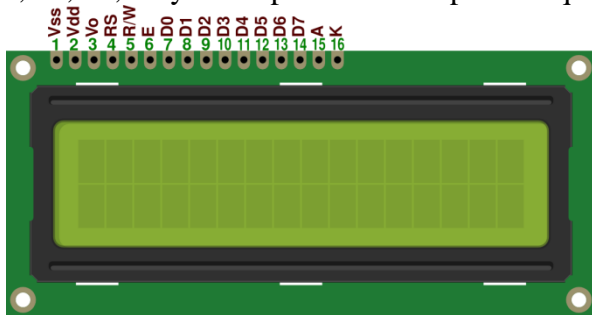


- 1 boton pulsador que al ser pulsado envía una señal al arduino a través del pin 7 (con una resistencia de 10KΩ).



Montaje Pull Down, el PIN10 esta unido permanentemente a GND y recibe 5 volt al pulsar el botón

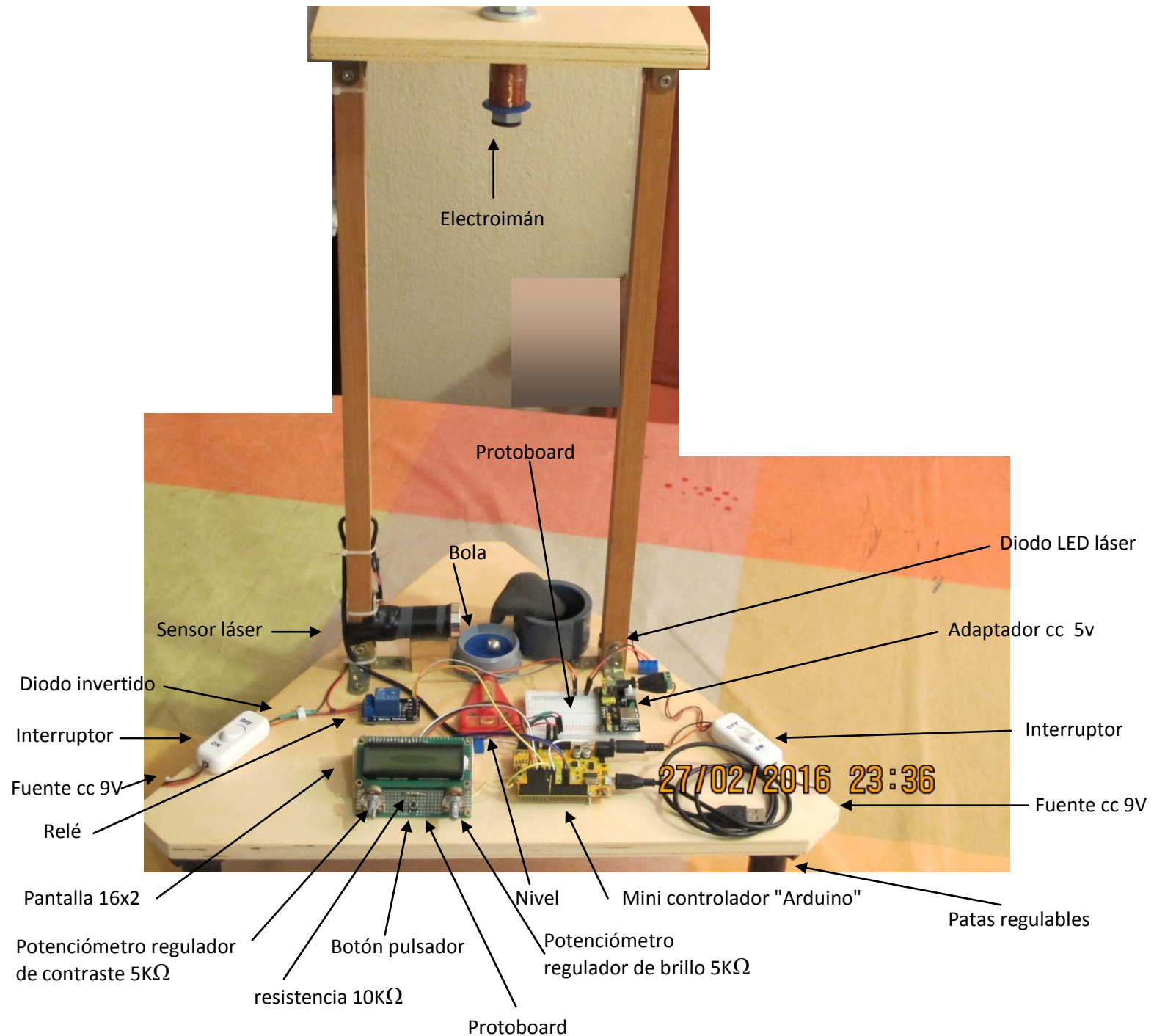
- 1 pantalla LCD que al recibir señales del arduino a través de los pines 12, 11, 5, 4, 3 y 2 desde sus puertos 4, 6, 11, 12, 13 y 14 respectivamente permite que aparezcan en pantalla los datos que nos interesan.



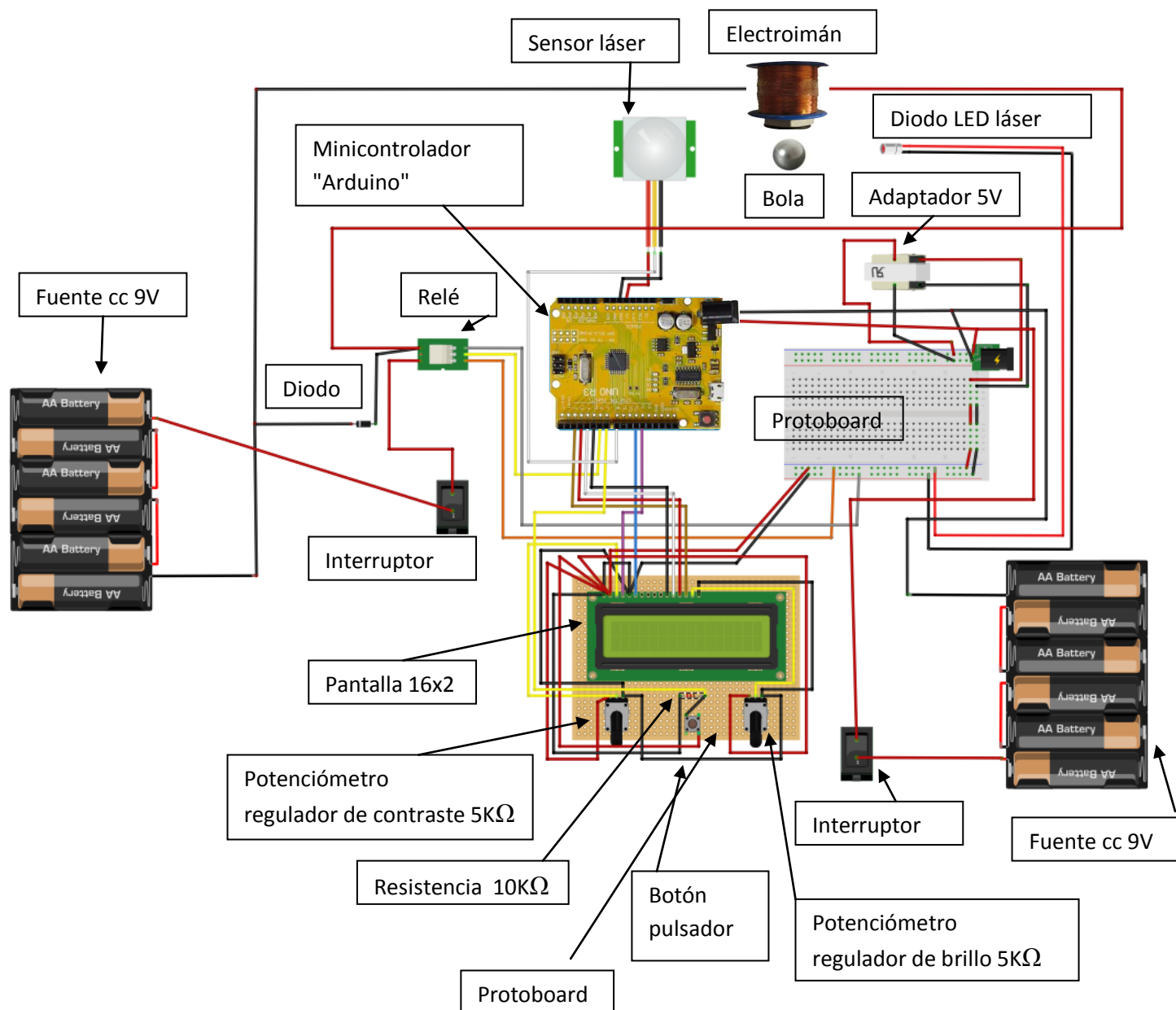
- 1 potenciómetro de 5KΩ conectado a la pantalla por el puerto 3 actuando como regulador de contraste.
- 1 potenciómetro de 5KΩ conectado a la pantalla por los puertos 15 y 16 actuando como regulador de brillo.

PROCEDIMIENTOS Y RESULTADOS:

Para hallar la aceleración de la gravedad en la Tierra hemos realizado el siguiente diseño experimental:

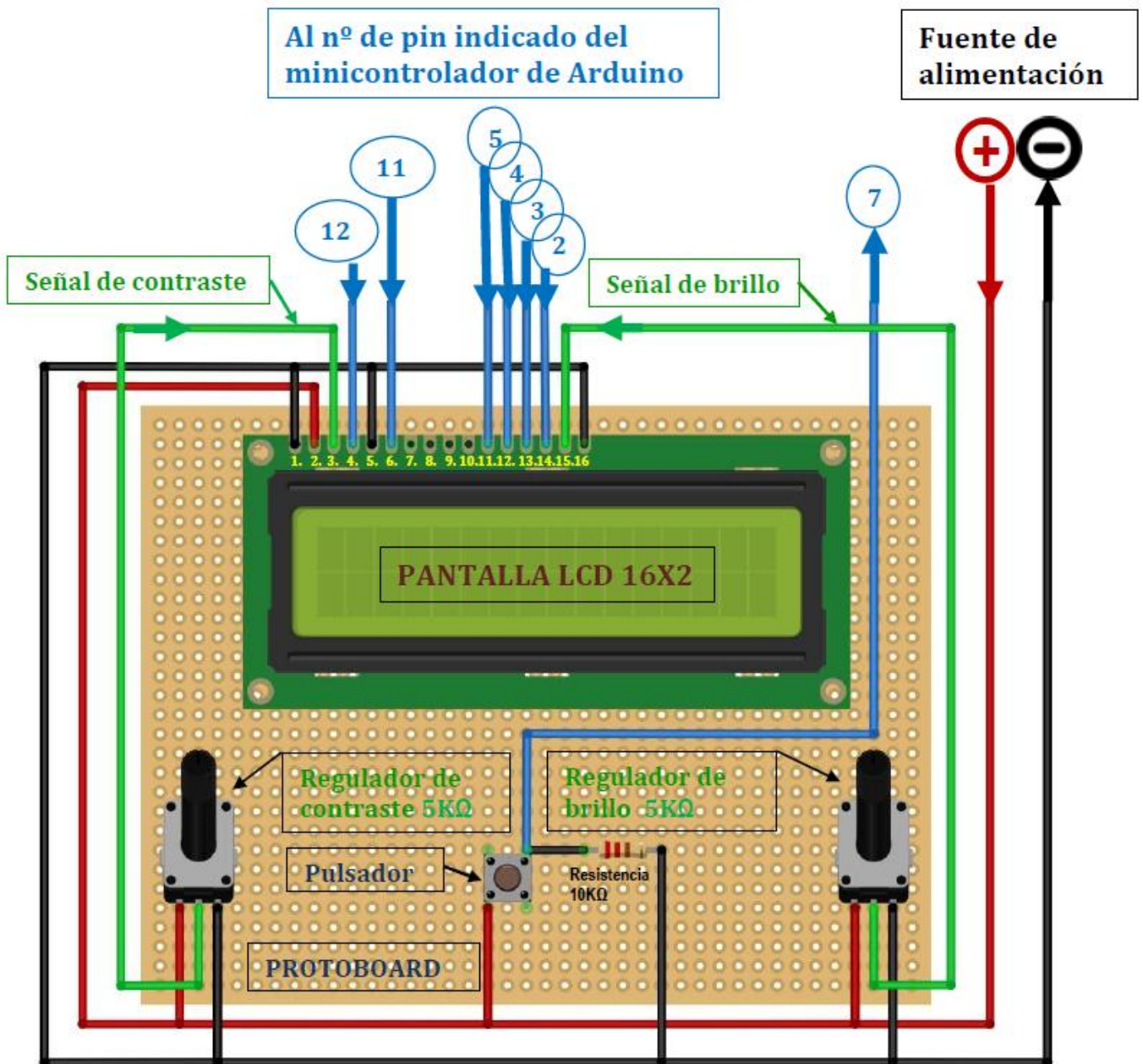


Mientras que los circuitos realizados son los siguientes:



Los datos de consumo eléctrico de cada dispositivo son los siguientes:

- Conectados en la fuente derecha:
 - Arduino: $24 \text{ mA} \times 5 \text{ V} = 120 \text{ mW}$
 - Receptor láser: $4 \text{ mA} \times 5 \text{ V} = 20 \text{ mW}$
 - Total los 2: $I=28 \text{ mA}$; $P=140 \text{ mW}$
 - Conectados al adaptador a 5V:
 - Pantalla: $12 \text{ mA} \times 5 \text{ V} = 60 \text{ mW}$
 - Emisor láser: $36 \text{ mA} \times 5 \text{ V} = 180 \text{ mW}$
 - Módulo relé 1 canal: $56 \text{ mA} \times 5 \text{ V} = 280 \text{ mW}$
 - Total los 3: $I=104 \text{ mA}$; $P=520 \text{ mW}$
- Consumo a) y b) $I=132 \text{ mA}$; $P=660 \text{ mW}$
- Conectados en la fuente izquierda:
 - Electroimán: $100 \text{ mA} \times 9 \text{ V} = 900 \text{ mW}$
 - Total: $I=100 \text{ mA}$; $P=900 \text{ mW}$
- Consumo a) , b) y c) $I=232 \text{ mA}$; $P=1550 \text{ mW}$

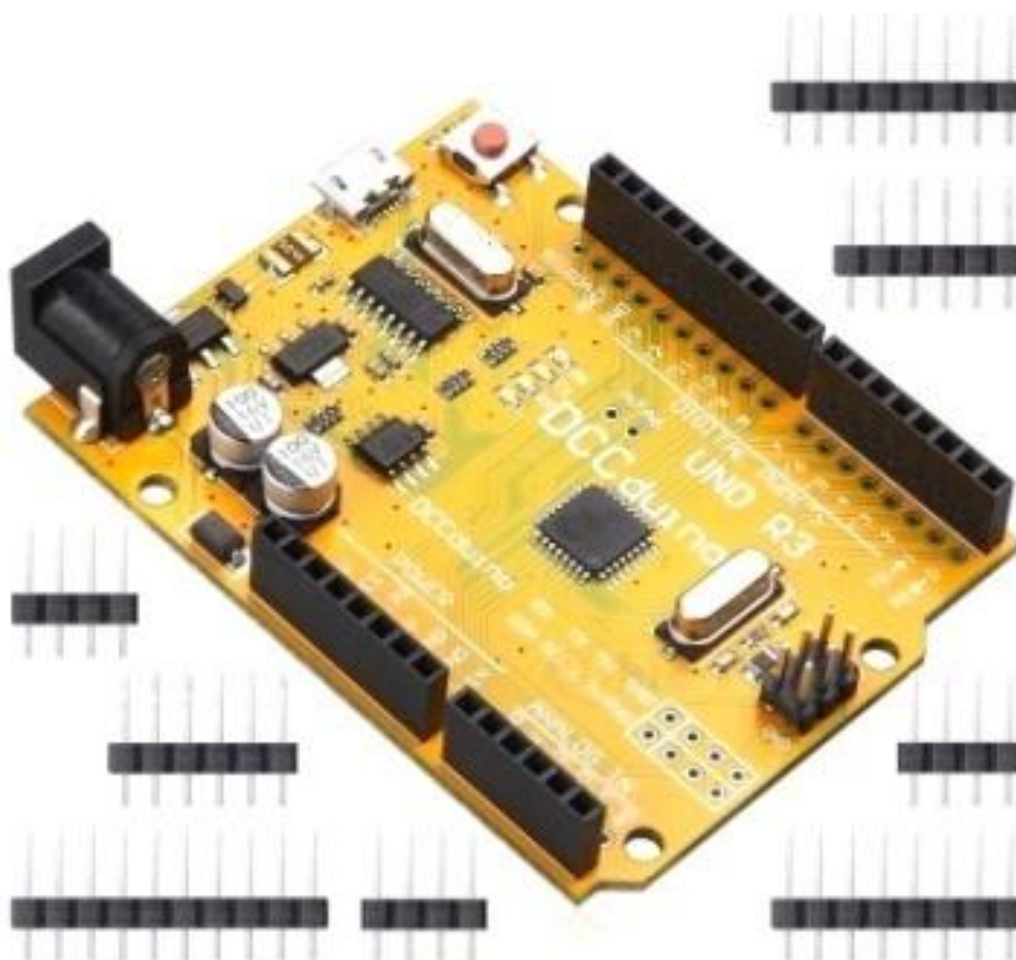
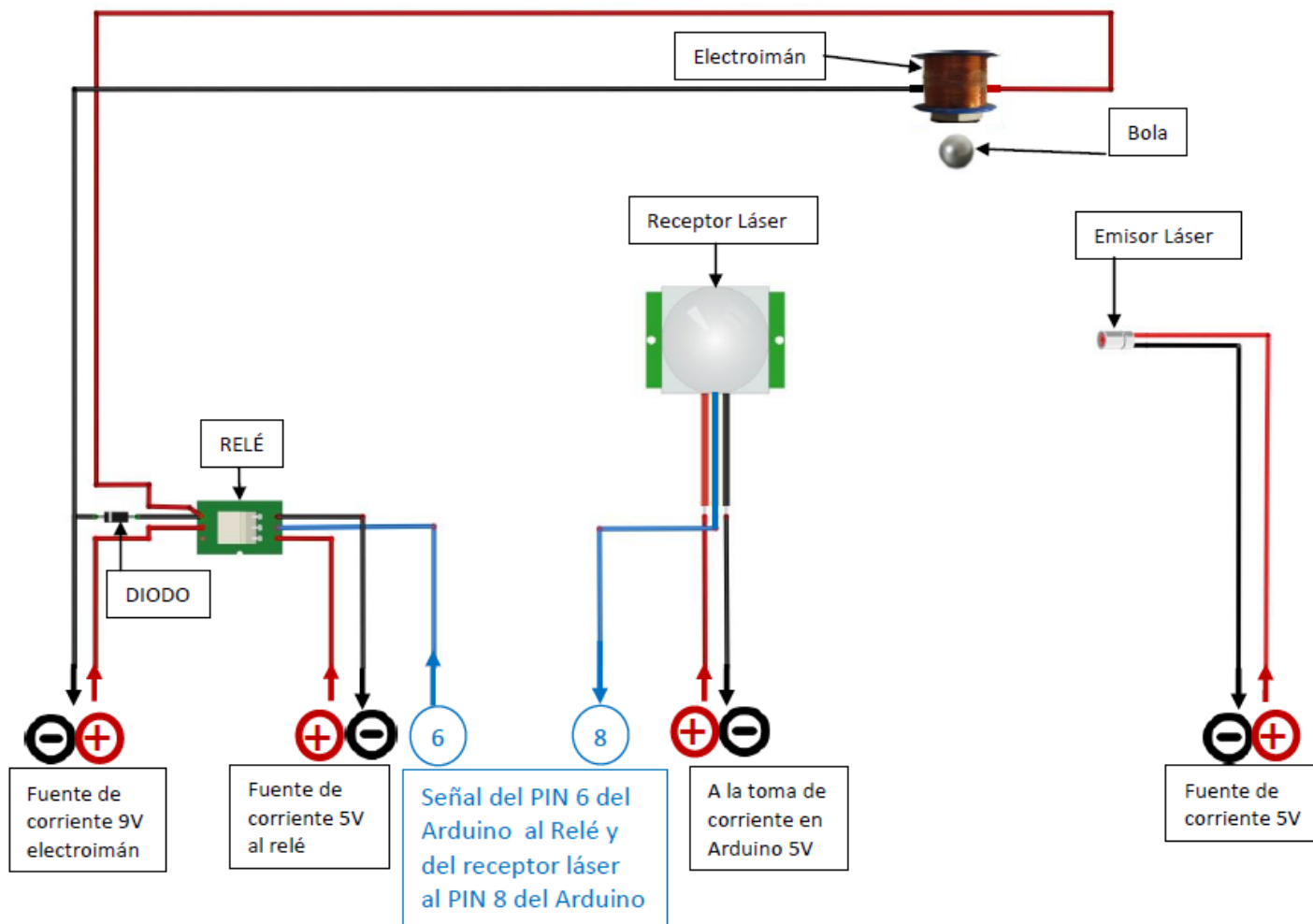


CONEXIONES de corriente:

- Del polo positivo ⊕ de la fuente de alimentación a:
 - Regulador de brillo
 - Botón pulsador
 - Regulador de contraste
 - Pantalla: Por el puerto 2
- Del polo negativo ⊖ de la fuente de alimentación a:
 - Regulador de brillo
 - Botón pulsador
 - Regulador de contraste
 - La Pantalla: Por el puerto 1, 5 y 16

CONEXIONES de señal:

- Desde el botón pulsador al pin 7 del arduino.
- Desde los pins 2, 3, 4, 5, 11 y 12 del arduino hasta los puertos de la pantalla 14, 13, 12, 11, 6 y 4 respectivamente
- Desde el regulador de contraste al puerto 3 de la pantalla.
- Desde el regulador de brillo al puerto 15 de la pantalla.



Algunas aclaraciones con respecto al montaje:

- Con respecto al armazón de madera reseñar que la base triangular (donde están los aparatos) tiene de lado 45x45x42 cm mientras que la base superior rectangular (donde está sujeto el electroimán) mide 24x12 cm, mientras que ambas plataformas están unidas por los 2 listones de madera de 50 cm de longitud.
- Respecto al nivel y las patas regulables (de 10 cm de altura) su objeto es que al regular las patas, la base se nivele para que la bola (sujeta al electroimán) siempre caiga en el mismo sitio y corte el rayo láser.
- En la foto (aunque no se vean) las 2 fuentes de alimentación de 9 V (cajas de 6 pilas) están sujetas bajo la plataforma.
- El sensor y el diodo-led láser están insertados en los listones laterales, justo en la trayectoria de la bola al caer y exactamente enfrentados entre si para que al pasar la bola corte el rayo que va del led al sensor láser.
- Respecto a la alimentación: Todos los dispositivos están conectados en paralelo a sus respectivas fuentes. El electroimán se alimenta de la fuente de la izquierda (En la imagen), el arduino a 5 V y el adaptador a 5V se alimentan, en paralelo, de la fuente de alimentación de la derecha (En la imagen), el sensor láser se alimenta directamente del arduino mientras que el resto de dispositivos (Pantalla, relé, botón y emisor láser) se alimentan a partir del adaptador a 5 V. Todos los dispositivos están conectados a sus respectivas fuentes en paralelo. En el caso de la pantalla necesita que la corriente tenga entrada por el puerto 2 \oplus y salida por los puertos 1, 5 y 16 \ominus conectados en paralelo con los reguladores de contraste y de brillo para su alimentación respectiva.
- La pantalla recibe señal del regulador de contraste (a través del puerto 3) y del regulador de brillo (a través del puerto 15)
- Todos los dispositivos salvo el emisor láser tienen conexión digital directa con el arduino a través de los pines digitales (El botón-pulsador→pin 7; pantalla→pines 12, 11, 5, 4, 3, 2 del arduino hasta los puertos de la pantalla 4, 6, 11, 12, 13 y 14 de la pantalla respectivamente; el (receptor) sensor láser→pin 8; relé→pin 6).
- El diodo a la entrada del electroimán se ha colocado para neutralizar las posibles extracorrientes de ruptura que podrían retardar la caída de la bola cuando el electroimán se desconecte. también se han prevenido posibles retardos en el electroimán por las corrientes de Foucault y la histéresis magnética.

Resumiendo los pasos que se dan en el proceso de puesta en marcha:

- 1º Encendemos los interruptores de alimentación.
- 2º Observamos que en la pantalla aparece el texto: "colocar bola y pulsar el botón"
- 3º Ponemos la bola de hierro en el extremo del electroimán.
- 4º Pulsamos el botón.
- 5º Observamos en pantalla que empieza una cuenta atrás: "caída de la bola en: 9, 8, 7, 6, 5, 4, 3, 2, 1, segundos"
- 6º En ese momento se apaga la luz roja del relé con lo que se desconecta el electroimán y cae la bola y simultáneamente se pone el cronómetro del arduino en marcha (t_i) apareciendo en pantalla "bola en caída"
- 7º Cuando la bola al caer corta el láser aparece en pantalla el tiempo que ha durado la caída (t_f-t_i) durante 5 segundos.
- 8º A continuación aparece en pantalla durante 10 segundos el valor de la aceleración de la gravedad, que ha calculado el arduino a partir de la ecuación del movimiento $h=1/2 \cdot g \cdot t^2$ (siendo $h=0,397$ la altura de caída, t el tiempo de caída y g la aceleración de la gravedad) de forma que al despejar $g=2 \cdot h/t^2$ y calculamos g sustituyendo los datos en esta ecuación.

Calibrado del aparato:

- Para calibrar el aparato hemos tomado 100 medidas del tiempo de caída, calculando el tiempo promedio ($t_{\text{medio}}=0,301398$ s) y comparándolo con el tiempo teórico (obtenido a partir de los datos de g del I.G.N. para la localidad $g=9,7994249$ y siendo $h=0,397$ m resulta que $t_{\text{teórico}}=\sqrt{2\cdot h/g} = 0,284649$ s de forma que introducimos un factor de corrección $C= t_{\text{teórico}}-t_{\text{medio}}= -0,016749$ s. Así cada vez que el arduino calcule g , el tiempo que usará será $t=t_{\text{caída}} + C$ y ya tenemos el sistema calibrado.

Nº medida	Tiempo de caída	Nº	Tiempo de caída	Nº	Tiempo de caída
1	0,302144	36	0,300416	71	0,302080
2	0,301376	37	0,301952	72	0,302336
3	0,302000	38	0,301056	73	0,301312
4	0,301187	39	0,301952	74	0,301568
5	0,301552	40	0,300544	75	0,300288
6	0,302160	41	0,301824	76	0,301824
7	0,301728	42	0,300800	77	0,301824
8	0,301792	43	0,301952	78	0,300800
9	0,301440	44	0,300928	79	0,301568
10	0,300256	45	0,301184	80	0,301568
11	0,301632	46	0,301056	81	0,301568
12	0,302240	47	0,300544	82	0,301312
13	0,302144	48	0,301312	83	0,301824
14	0,301440	49	0,301824	84	0,301568
15	0,301952	50	0,300672	85	0,301568
16	0,300992	51	0,301312	86	0,301312
17	0,301760	52	0,299776	87	0,301312
18	0,301696	53	0,300544	88	0,301312
19	0,302272	54	0,301312	89	0,301312
20	0,301696	55	0,301056	90	0,300288
21	0,302272	56	0,300544	91	0,302995
22	0,301888	57	0,302080	92	0,301056
23	0,301376	58	0,300544	93	0,301568
24	0,301376	59	0,302080	94	0,301568
25	0,301248	60	0,301824	95	0,300800
26	0,301824	61	0,302336	96	0,300544
27	0,301440	62	0,301056	97	0,301568
28	0,301312	63	0,300288	98	0,300800
29	0,302080	64	0,301056	99	0,300800
30	0,300544	65	0,301568	100	0,301312
31	0,300672	66	0,301312		
32	0,300800	67	0,301312		Media: 0,301398 s
33	0,301440	68	0,301056		Valor: 0,284649 s
34	0,301440	69	0,302848		Corrección: 0,016749 s
35	0,301056	70	0,302080		

Programación Arduino:

- Para hacer todas estas operaciones con los dispositivos ha sido necesario introducir por el puerto USB del arduino la programación necesaria en código C++ que ha sido la siguiente:

PROGRAMACIÓN EN CÓDIGO C++ PARA ARDUINO UNO. MEDIDA DE g POR CAÍDA LIBRE

```
#include <LiquidCrystal.h>

LiquidCrystal lcd(12, 11, 5, 4, 3, 2);
const int buttonPin = 7;
const int sensorPin = 8;
const int relayPin = 6;
const float correc = -0.016749;
int sen;
int buttonState;
int caida = 0;
int cont = 9;
int abajo = 0;
int bola = 0;
int corte = 0;
float ti;
float tf;
float tc;
float g;
```

```
void setup() {

  Serial.begin(9600);
  pinMode(buttonPin, INPUT);
  pinMode(sensorPin, INPUT);
  pinMode(relayPin, OUTPUT);
  lcd.begin(16, 2);
  lcd.clear();
}
```

```
void loop() {1
  buttonState = digitalRead(buttonPin);
```

BLOQUE 1

```
if (buttonState == LOW) {2
  lcd.setCursor(0,0);
  lcd.print("Colocar bola y ");
  lcd.setCursor(0,1);
  lcd.print("pulsar el boton");
  digitalWrite(relayPin, LOW);
}2
```

BLOQUE 2

```
if (buttonState == HIGH) {3
  caida = 1;
  cont = 9;
}3
```

Definición de variables:

- Llamada a la librería para la pantalla. La pantalla se conecta al ARDUINO a través de los pins: 12, 11, 5, 4, 3 y 2.
- El botón a través del pin 7.
- El sensor láser a través del pin 8.
- El relé a través del pin 6.
- Factor de corrección para el tiempo de caída t_c
- Datos numéricos: " int " son números naturales, " float " son números reales.

Llamada a configuración: Estos parámetros se ejecutan una sola vez. Para el botón y sensor se envía una señal de entrada y para el relé y la pantalla de salida.

- 9600 b.p.s. para conexión con pc si es necesario.

-La pantalla tiene 2 filas para 16 caracteres cada una.

0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9						0,15
0,1	1,1	2,1	3,1	4,1	5,1	6,1	7,1	8,1	9,1						15,1

Llamada a bucle: las órdenes escritas se ejecutan en bucle, una y otra vez.

- El botón se comprueba continuamente si se ha pulsado "HIGH" o no " LOW"

-Si el botón no se pulsa aparece en pantalla:

En la 1ª fila: "Colocar bola y "

En la 2ª fila: "pulsar el boton"

-Envía al relé la orden que no abra el circuito ni caiga la bola

- Mientras no se pulsa el botón sólo se ejecuta el bloque 1.

- Cuando se pulsa el botón se ejecutan los bloques 2, 3, 4 y 5.

- Se indica la cuenta atrás: 9, 8, 7, 6, 5, 4, 3, ...

BLOQUE 3

```
if (caida == 1) {4
  lcd.clear();
  lcd.setCursor(0,0);
  lcd.print("Caida de la bola en:");
  lcd.setCursor(4,1);
  lcd.print(cont);
  lcd.print(" segundos");
  if (cont == 0) {5
    caida = 0;
  }5
  if (cont > 0) {6
    cont = cont - 1;
  }6
  delay(1000);
}4
```

BLOQUE 4

```
if (cont == 0) {7
  lcd.clear();
  lcd.setCursor(0,0);
  lcd.print("Bola en caida...");
  if (bola == 0) {8
    digitalWrite(relayPin, HIGH);
    ti=micros();
    bola = 1;
  }8
  do{9
    sen=digitalRead(sensorPin);
    if (sen == 0) {10
      tf= micros();
      corte=1;
    }10
  }9 while (corte == 0);
  if (corte == 1) {11
    tc=(tf-ti)/1000000;
    lcd.clear();
    lcd.print("T.C: ");
    lcd.setCursor(6,0);
    lcd.print(tc,6);
    delay(5000);
    tc=tc+correc;
    g=(2*0.397)/(tc*tc);
    lcd.clear();
    lcd.print("g = ");
    lcd.setCursor(5,0);
    lcd.print(g,6);
    delay(10000);
    abajo=1;
    corte=0;
    ti=0;
    tf=0;
    tc=0;
  }11
}7
```

En pantalla aparece:

En la 1ª línea "Caida de la bola en:"

En la 2ª línea: 9 segundos, 8 segundos, 7 segundos...
hasta 1 segundos (durante 1000 ms cada uno)

- Para que no vuelva a entrar más en este bloque 3
- Cuenta atrás que se para en 0.

1000 ms = 1 s

- Cuando el contador sea 0 se ejecutan los bloques 4 y 5 y no vuelve a entrar más en el bloque 3.

- Con la variable "bola" controlamos que se abra el circuito una sola vez, y el tiempo inicial sea único.
- Se abre el circuito del relé, el electroimán deja de funcionar y la bola cae.
- Tiempo inicial para el cálculo de la caída.

- Lectura del sensor láser.
0 = la bola ha cortado el rayo
1 = la bola no ha pasado por el rayo

- Se repite sólo esta operación mientras la bola no corte el láser y en este momento se toma el tiempo final.
- Se entra aquí en los cálculos cuando la bola ha cortado el rayo y tenemos los tiempos inicial y final.

- Muestra durante 5 s (5000 ms)
- Para calibrar este aparato sumamos al tiempo el factor de corrección (después de repetir el experimento 100 veces para calcular el tiempo medio y compararlo con el valor de "g" real obtenido del hito que el Instituto geográfico nacional I.G.N. tiene en esta localidad para los valores de g_{Local} a partir de la fórmula $h = 1/2 \cdot g \cdot t^2$ (siendo $h=0.397$ m)
 $\rightarrow t_{real} = \sqrt{2 \cdot h/g}$ de forma que $correc = t_{medio} - t_{real}$
y $tc = tc + correc$
- Se muestra el valor de g durante 10 s (10000 ms)

BLOQUE 5

```
if (abajo == 1) {12  
    cont = 9;  
    abajo = 0;  
    caida = 0;  
    bola = 0;  
}12  
  
}1
```

Una vez terminada esta medida se fijan otra vez los valores para volver a entrar en el bloque 1.

NOTA: Indicamos con superíndice en rojo el nº de paréntesis.

Algunas incidencias en la investigación a modo de muestra:

Ha sido necesario realizar numerosas pruebas para poner a punto la interconexión de los distintos dispositivos y con el arduino.

A modo de ejemplo:

- En un principio el pulsador no funcionaba a pesar que el diseño eléctrico era correcto. Al pulsar el botón se desconectaba el arduino: hubo que pensar que en la programación los conceptos "HIGH" y "LOW" se traducen por "1" y "0" respectivamente, sin embargo "0" no significa desconexión y "1" conectado sino mayor y menor tensión en el circuito por lo cual introdujimos una resistencia de 10KΩ. También hubo que redefinir, en la programación, encendido y apagado para que al presionar el pulsador en vez de encender desconectara el relé, para que cayera la bola.
- La pantalla a pesar de estar bien conectada tampoco funcionaba (no se veían los dígitos) así que hubo que buscar la forma de regular el brillo y el contraste, para lo que insertamos 2 potenciómetros de 5 KΩ para que la pantalla fuera legible regulando los potenciómetros.
- En un principio la idea era alimentar todos los dispositivos desde el arduino, sin embargo sólo había 2 entradas de 5 V y teníamos 5 aparatos, aparte que se desaconsejaba alimentar más de 50 mA desde el arduino y el consumo era de 232 mA, así que decidimos alimentar los dispositivos desde fuera con un adaptador a 5 V en paralelo al arduino para evitar problemas de diferencias de voltaje entre los dispositivos.
- El electroimán que construimos enrollando 5 m de cobre lacado de sección 0,6 mm sobre el tornillo (de 10 mm de diámetro) consumía 3,5 Amperios de corriente y recalentaba (por efecto Joule) el transformador de 220 V c.a. a 9 V c.c. y hacía falta poner algún sistema de baterías para hacer el sistema portátil; así que pensamos en aumentar la resistencia para disminuir la intensidad (por la ley de Ohm) para ello teníamos la opción de disminuir la sección del conductor pero aumentando la longitud del hilo bobinado (para evitar aumentos de temperatura por efecto Joule). Finalmente encontramos la opción de usar de hilo de bobinado una bobina completa de 167 m de longitud y sección del hilo 0,2 mm (Por suerte no hubo que bobinarlo pues sus 2 extremos estaban a la vista para su conexión) y su intensidad final para 9 V fue de 100 mA.
- Otro problema que encontramos fue que cuando conseguimos hacer funcionar los distintos dispositivos por separado, juntos no funcionaban; hubo que volver a reconfigurar la programación del arduino.
- Una vez que todos los aparatos funcionaban juntos, los errores de tiempo eran muy grandes, observamos que la bola caía al presionar el botón pero el cronómetro se ponía en marcha al soltarlo (error humano) hubo que configurar un sistema de cuenta atrás para que ambos dispositivos actuaran al unísono.
- A continuación observamos que el relé no paraba de reconectarse a varios hercios de frecuencia, se solucionó volviendo a reconfigurar el relé en la programación del arduino.
- Aún así los tiempos no cuadraban, ahora eran demasiado pequeños, pero al conectar el receptor láser directamente a la alimentación de la placa arduino conseguimos solucionarlo, era problema de la alta sensibilidad del receptor láser que apreciaba las mínimas diferencias de tensión entre ambos dispositivos. Este sensor tampoco funcionaba a veces hasta que pensamos que la luz ambiental podía interferir, probamos en la oscuridad y sí funcionó así que construimos una carcasa opaca con un miniorificio justo para que entrara la luz del emisor láser; esta vez sí funcionó.
- Al caer la bola unas veces marcaba tiempos y otras no, pensamos que podía ser tema del tiempo de proceso en el arduino así que surgió la idea de crear un bucle en el momento de la caída de la bola para que el programa realizara solo ese paso durante el tiempo de caída y reducir el tiempo de proceso; esta vez funcionó.
- Se nos han ocurrido más ideas para optimizar el proceso pero resultan poco viables por su coste económico,

así que nos mostramos satisfechos con lo aprendido en esta investigación.

- Los resultados obtenidos de la aceleración de la gravedad han sido muchos y variados, sobre todo al principio. Conforme hemos ido avanzando en la mejora del diseño y en la programación, los errores se han ido reduciendo en gran medida, obteniendo finalmente resultados de g con un error del 0,3 % respecto al valor teórico y obteniendo resultados que oscilan entre 9,77 y 9,83 m/s^2 .

CONCLUSIONES:

Los valores de g obtenidos finalmente tienen una precisión del 99,7% obteniendo valores de la aceleración de la gravedad $g = 9.80 \pm 0.03 m/s^2$

A lo largo de la investigación nos han surgido muchas fuentes de interés que nos han hecho hacernos muchas preguntas, sobre todo en una investigación tan transversal como esta que nos obliga a tocar tanta variedad de temas como la electrónica y la programación y también hemos aprendido en la resolución de las dificultades que se han presentado.

BIBLIOGRAFÍA Y WEBGRAFÍA UTILIZADAS:

- Arduino práctico de Joan Ribas Lequerica Ed. Anaya.
- Wikipedia.
- Páginas de los productos adquiridos en Ebay:
 - Fuente de Alimentación: ref. 141995969570
 - Módulo Relé 1 canal: ref. 221439701844
 - Emisor láser rojo: ref. 331823106877
 - Receptor láser: ref. 272050724428
 - Pantalla LCD 16x2: ref. 152070115260
 - DCCduino: ref. 282038232780