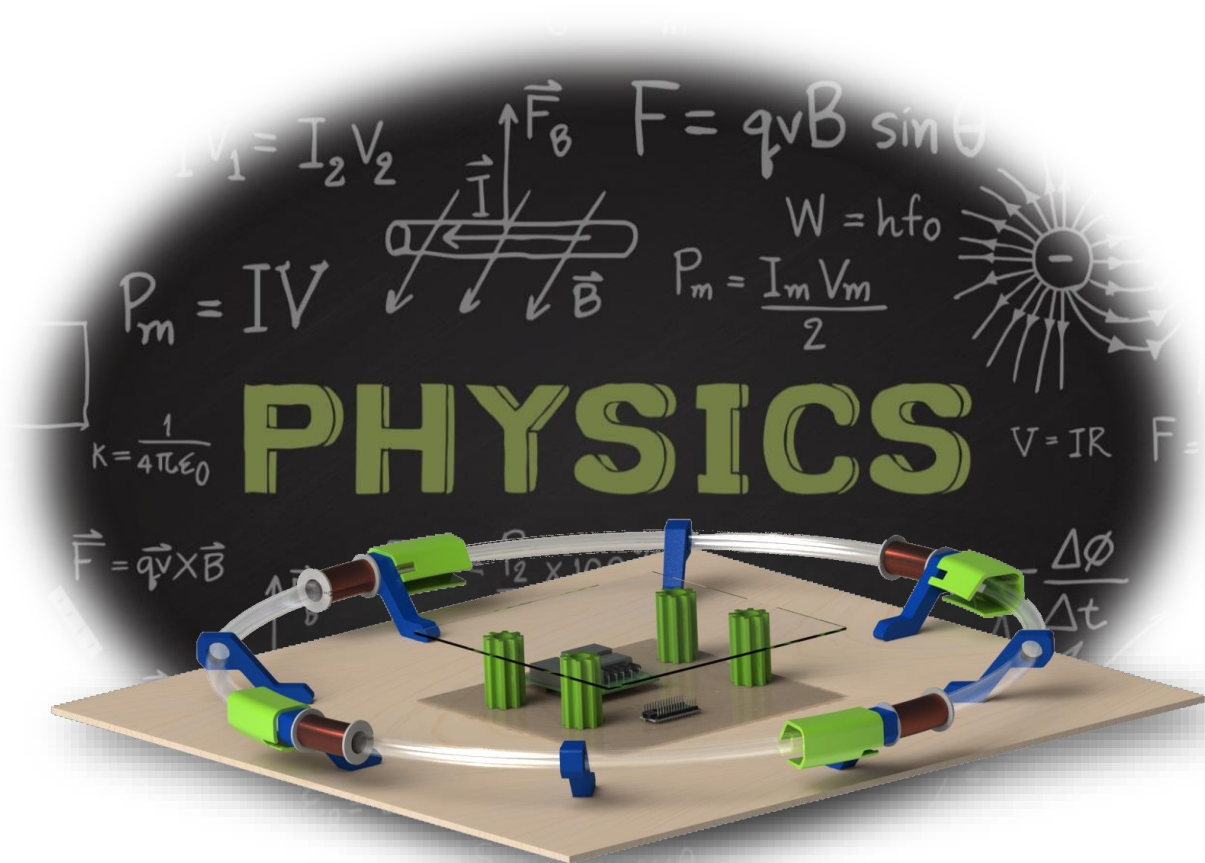


PROYECTO SYNCHROTRON



REALIZADO POR:

ANGEL LOPEZ GONZALEZ



Universidad
Europea de Madrid

LAUREATE INTERNATIONAL UNIVERSITIES



LAUREATE INTERNATIONAL UNIVERSITIES

Universidad Europea de Madrid

LAUREATE INTERNATIONAL UNIVERSITIES

ÍNDICE

- HANDICAPS DEL PROYECTO _____ PAG 3
- FUNCIONAMIENTO _____ PAG 4
- DISEÑO DEL CIRCUITO _____ PAG 5
- PRUEBAS EN LABORATORIO _____ PAG 6
- CÁLCULOS _____ PAG 7
- CAMPO MAGNÉTICO _____ PAG 8
- CÓDIGO _____ PAG 9

HÁNDICAPS DEL PROYECTO

DISEÑO INICIAL



El diseño inicial del proyecto se realizó en SolidWorks como base de desarrollo para tener un soporte digital que ha permitido una visión completa y acabada del dispositivo que ha servido como referencia a la hora de comprar los materiales, también se han utilizado las piezas desarrolladas en el ensamblaje para su impresión 3D en PLA y ABS.

ESTUDIO



Para el circuito principal de alto voltaje, se han estudiado los posibles componentes y a través de varios simuladores como Proteus, se han seleccionado los más adecuados siempre de acuerdo con los cálculos límite de potencia de los propios componentes. Un objetivo del propio proyecto desde el principio ha sido realizarlo sin el uso de condensadores.

PRUEBAS



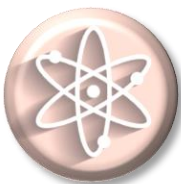
Durante todo el proceso se han tenido que ir probando cada uno de los elementos por separado, para comprender el funcionamiento observando la capacidad y reacción. Se realizaron medidas de voltajes e intensidad, así como tiempos de recorrido y temperaturas de trabajo.

PROGRAMACIÓN



Se han creado algoritmos específicos para la localización del proyectil y control del propio dispositivo a través de una placa Arduino, la cual nos permite la exportación de datos a una pantalla LCD donde podemos visualizar la velocidad en cada punto de localización del dispositivo.

ENSAMBLADO



Durante el ensamblado final se superaron varias etapas de correcciones y modificaciones que ha permitido la mejora del prototipo hasta conseguir resultados.

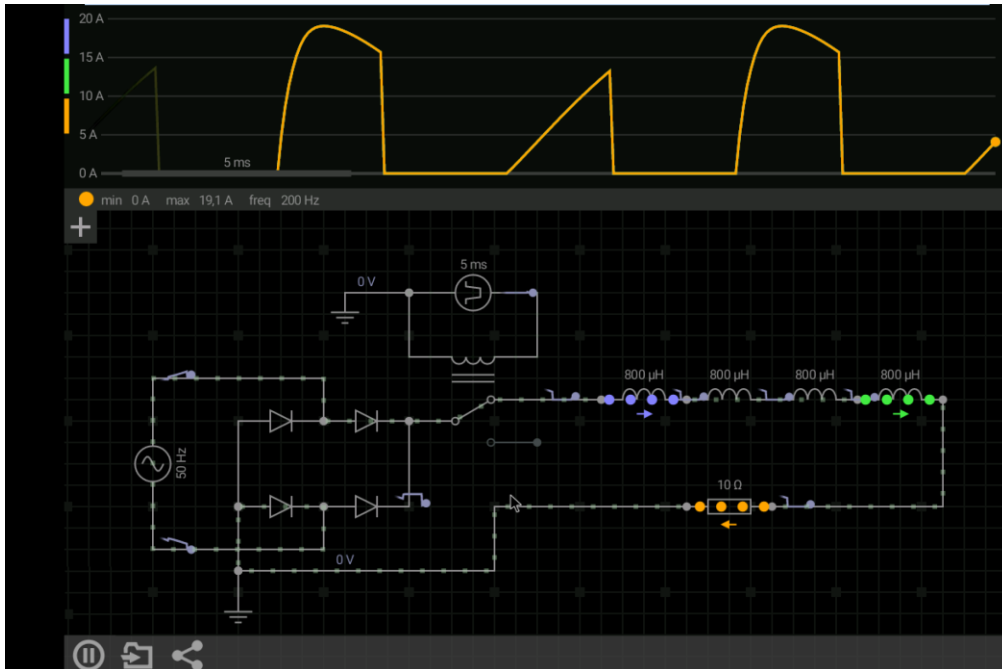
FUNCIONAMIENTO

El sincrotron cuenta con 4 bobinas alimentadas por un circuito de alto voltaje controlado por una placa Arduino, que impulsan una bola de 10mm de acero niquelado, siendo esta localizada en el conducto circular mediante fotocélulas a modo de maqueta educativa representando el funcionamiento básico de un acelerador de partículas. En detalle estos elementos se pueden dividir en cuatro partes que componen el proyecto:

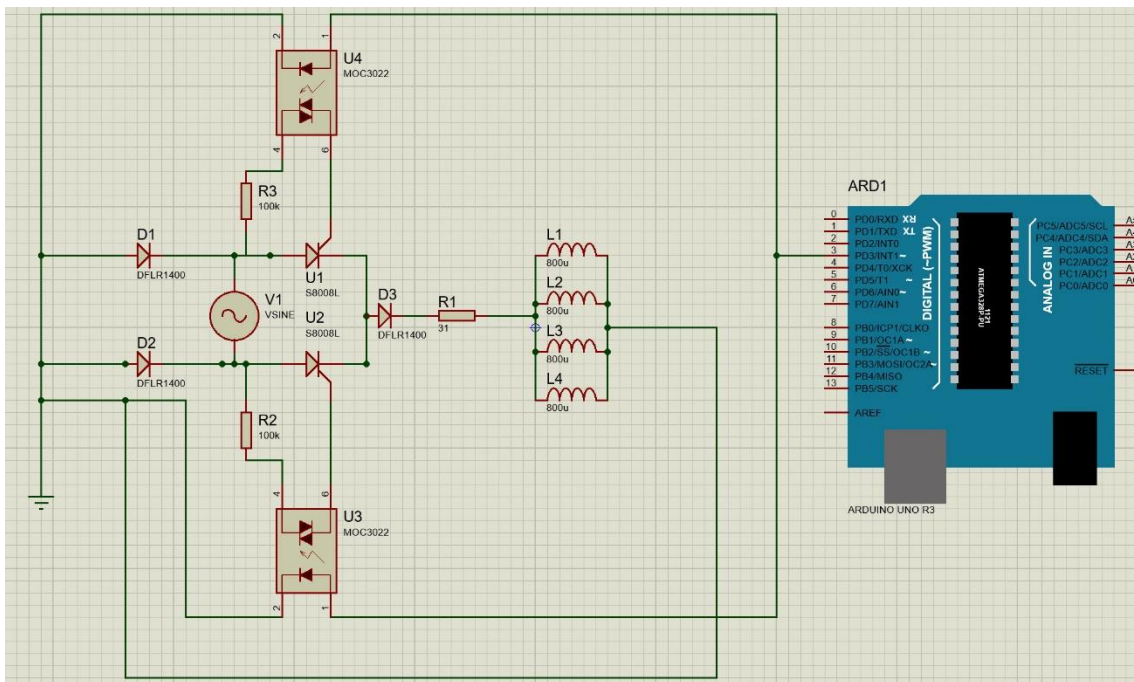
- **Fotocélula:** compuesta por un LED de luz blanca como emisor y una LDR como receptor, montadas sobre un soporte en PLA, captamos localmente el tiempo que transcurre generado por la sombra del proyectil lo que nos permite saber la velocidad previa al disparo. Debido a que las fotocélulas funcionan con luz visible, durante las pruebas se observó que la luz ambiente podía provocar comportamientos inesperados y para solventar este inconveniente se ha implementado una porción de código en el inicio del programa que toma el valor de luminosidad y sobre ese valor se halla el valor de referencia.
- **Microcontrol:** se procesa la información recibida de los sensores para calcular la velocidad del proyectil y el momento de disparo. En el momento adecuado se activa el circuito de alto voltaje a través de dos optotriac de baja potencia para proteger la placa y poder impulsar el proyectil. La información de la velocidad en mm/s se exporta a una pantalla LCD que nos permite ver los cuatro puntos de control.
- **Rectificador híbrido:** para el circuito de alto voltaje se ha empleado un rectificador híbrido de acción rápida compuesto por dos diodos (1000V y 20A) y dos tiristores de alta potencia (800V y 8A) que nos entrega 220V alterna rectificadas a 7 amperios pico.
- **Bobinas:** realizadas con hilo de cobre esmaltado de 0,2mm, bobinadas sobre soporte impreso en ABS para aguantar las temperaturas de trabajo. Tienen unas dimensiones de 50mm de longitud y un radio interior de 20mm. En total cada bobina tiene 800 vueltas aprox. lo que nos proporciona una inductancia de 3mH con un empuje teórico de 5mJ.

DISEÑO DEL CIRCUITO

En un inicio se realizo un diseño a través de la aplicación Everycircuit para ver un posible funcionamiento del rectificador híbrido con las bobinas en serie



Tras realizar varias pruebas se paso al siguiente nivel de diseño con Proteus incluyendo los componentes específicos a usar, así como la inclusión de una placa Arduino con posibilidad de virtualizar el código a través del fichero hex, siendo esta una de las partes más complicadas por falta de conocimientos del software.



CÁLCULOS

Corriente

$$\text{Teórica} \quad R_T = \frac{100 \cdot 45}{100 + 45} = 31 \Omega \quad I = \frac{V}{R} \rightarrow I = \frac{220V}{31 \Omega} = 7 A \rightarrow RMS = \frac{7A}{\sqrt{2}} = 5A$$

$$\text{Laboratorio} \quad 2,6A \text{ pico} \rightarrow RMS = \frac{2,6A}{\sqrt{2}} = 1,83A$$

Energía real

$$E_B = \frac{1}{2} m v^2 = \frac{1}{2} \cdot 4kg \cdot 10^{-3} \cdot 0,942 m/s^2 = 1,77 mJ$$

$$a = \frac{2}{t^2} (x - v_0 t) = \frac{2}{1^2} (0,8m - 0,942 m/s \cdot 1s) = -0,284 m/s^2$$

$$F_r = 4kg \cdot 10^{-3} \cdot -0,284 m/s^2 = -1,136 \cdot 10^{-3} N \quad E_R = -1,136 \cdot 10^{-3} N \cdot 0,8m = -0,9mJ$$

$$E_T = E_B + E_R = 1,77mJ - 0,9mJ = 0,87mJ$$

Energía teórica

$$E = \int_0^{I_0} LI \partial I = \frac{1}{2} LI^2 \rightarrow E = \frac{1}{2} \cdot 3H \cdot 10^{-3} \cdot \left(\frac{2,6A}{\sqrt{2}}\right)^2 = 10mJ$$

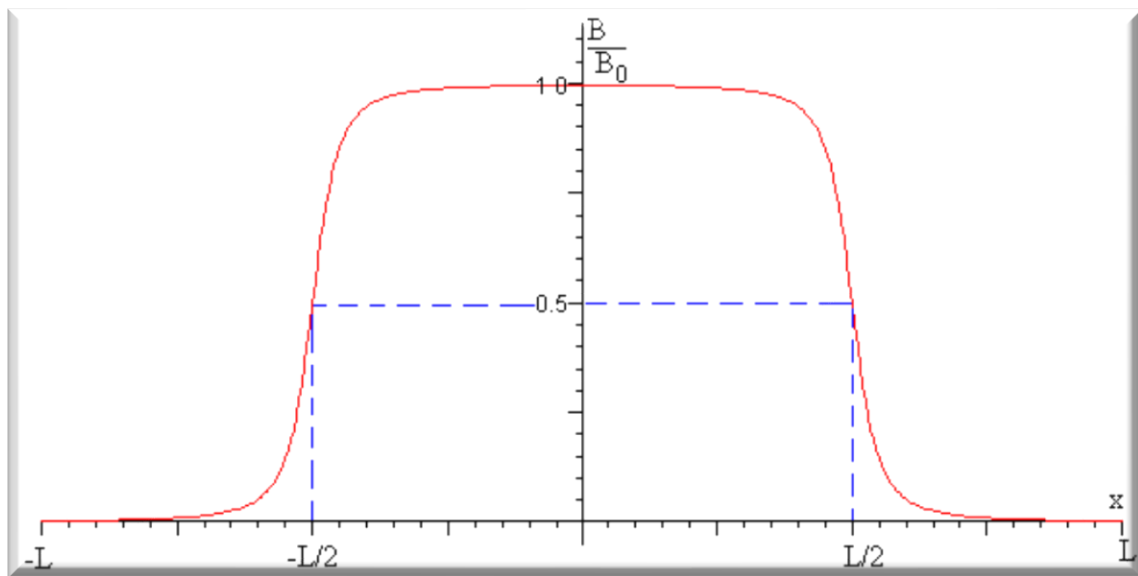
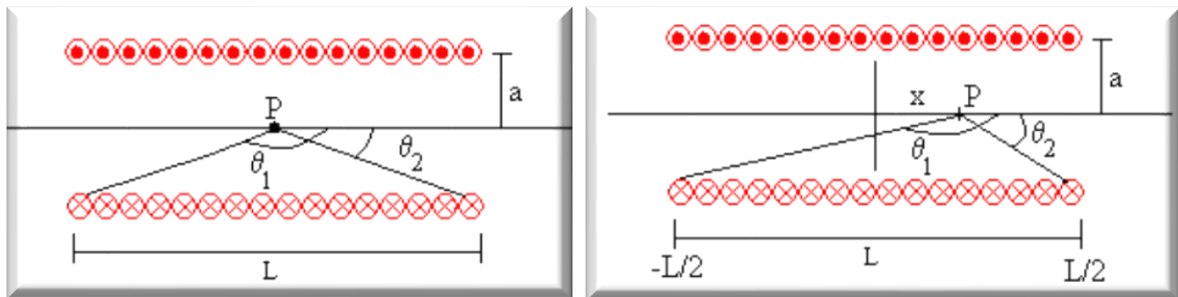
Potencia real vs teórica

$$\text{Potencia real} \quad P_B = \frac{1,77mJ}{30 \cdot 10^{-3}s} = 60mW$$

$$\text{Potencia teórica} \quad P_B = \frac{10mJ}{30 \cdot 10^{-3}s} = 333mW$$

De estos cálculos obtenemos una pérdida del 65% de potencia debido a que el proyectil no pasa por el centro exacto de la bobina y que la bobina está hecha a mano.

CAMPO MAGNÉTICO



$$B = \frac{\mu_0 \cdot I}{2 \cdot x^2} \cdot a \cdot \text{sen}\theta \rightarrow \partial B = \frac{\mu_0 \cdot I \cdot a}{2 \cdot (\sqrt{a^2 + x^2})^3} \cdot \frac{N}{L} \cdot \partial x \rightarrow B = \frac{\mu_0 \cdot I \cdot N}{2 \cdot L} \cdot \int_{\theta_1}^{\theta_2} -\text{sen}\theta \cdot \partial\theta$$

$$B = \frac{\mu_0 \cdot I \cdot N}{2 \cdot L} \cdot (\cos\theta_2 - \cos\theta_1) \rightarrow \cos\theta_2 = \frac{L/2 - x}{\sqrt{(L/2 - x)^2 + a^2}} \quad \& \quad \cos\theta_1 = -\frac{L/2 - x}{\sqrt{(L/2 - x)^2 + a^2}}$$

$$B_{\max} = \frac{\mu_0 \cdot I \cdot N}{2 \cdot L} = \frac{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot \frac{2,6\text{A}}{\sqrt{2}} \cdot 800}{2 \cdot 0,05\text{m}} = 18,5 \text{ mT}$$

CÓDIGO

A continuación, se incluye la parte más importante del código, que corresponde al cálculo de la velocidad del proyectil y el momento de disparo, así como la exportación de datos en la pantalla LCD:

```
int paso1 = analogRead(ldr1);
if (paso1 < ref1){
  tiempo11 = micros();
  while (paso1 < ref1){
    paso1 = analogRead(ldr1);
  }
  tiempo12 = micros();
  diferencia = tiempo12 - tiempo11;
  velocidad = 12000000/diferencia;
  if ((diferencia < 100000) && (velocidad < 400000)){
    disparo = 10000000/velocidad;
    delayMicroseconds (disparo);
    digitalWrite (activacion, HIGH);
    digitalWrite (led, HIGH);
    delay (35);
    digitalWrite (activacion, LOW);
    digitalWrite (led, LOW);
    lcd.home ();
    lcd.print("V1:");
    lcd.setCursor ( 3, 0 );
    lcd.print("  ");
    lcd.setCursor ( 3, 0 );
    lcd.print(velocidad);
  }
}
```