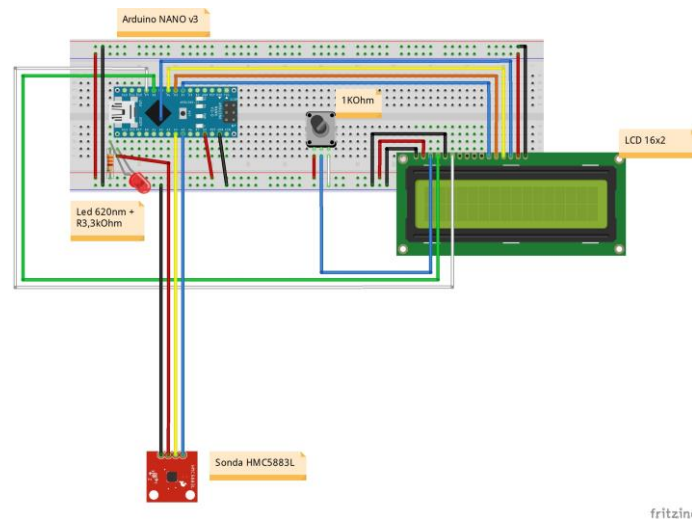


Manual de uso y construcción del magnetómetro MMIT

v.1



Desarrollado por:

D. David H. Ibáñez Díez
D. José María Muñoz Muñoz
D. Carlos Torres Cabrera

Versión julio de 2016 - 1

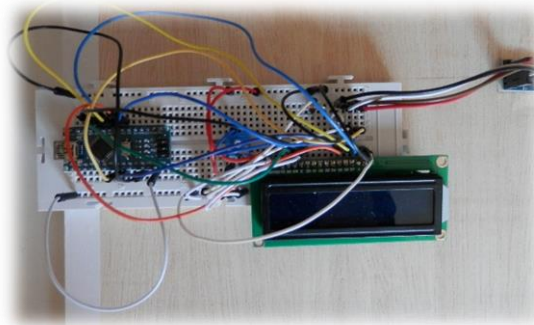
Índice

INTRODUCCIÓN.....	3
MANUAL DE USO.....	3
Campo de trabajo y resolución.....	3
Puesta a cero y calibración	4
Calibración.....	4
Puesta a cero	5
Datos mostrados	6
DISEÑO	6
Hardware	6
El Circuito electrónico.....	7
Alimentación.....	8
Montaje en el banco de trabajo	8
Software	9
Código fuente	9
BIBLIOGRAFÍA.....	13

INTRODUCCIÓN

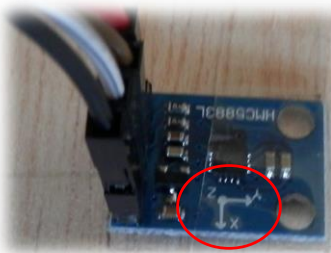
El magnetómetro digital aquí presentado procede del desarrollo de un Trabajo Fin de Máster de título: Magnetismo Experimental: Construcción del equipo y diseño de prácticas cuantitativas para 2º de Bachillerato. Este proyecto se desarrolló en el departamento de Física Aplicada de la Facultad de Ciencias de dicha Universidad de Valladolid y tiene como objeto el uso a nivel didáctico en distintos cursos y centros.

El soporte electrónico empleado, tanto de hardware como de software, parte de la compañía de hardware libre Arduino lo cual permite su accesibilidad, aprovechamiento y escalabilidad para todos aquellos que deseen su uso.



El fin del diseño de este magnetómetro no es comercial, por lo tanto está permitido su uso, copia, modificación y distribución con los mismos fines que fue concebido; siempre que se mencione a los autores del mismo.

MANUAL DE USO



El magnetómetro MMIT, puede llevar infinidad de programas los cuales se adaptan para cada finalidad. Por defecto, lleva instalado el programa el *M1*, con el objeto de medir variaciones de campos magnéticos en los tres ejes sobre una base ortogonal que se establece según la posición de la sonda.

CAMPO DE TRABAJO Y RESOLUCIÓN

La sonda HMC5883L ofrece un campo de trabajo y sensibilidad excelente para medir incluso el campo magnético terrestre. Su campo de trabajo y sensibilidad se configura con cada programa empleado, para el *M1* se ha elegido el rango de trabajo mayor y por lo tanto menor sensibilidad (7). A continuación se muestra la tabla:

Modo	Rango +/- μT	Sens. μT
0	+/-88	0,0730
1	+/-130	0,0917
2	+/-190	0,1220
3	+/-250	0,1515
4	+/-400	0,2273
5	+/-470	0,2564
6	+/-560	0,3030
7	+/-810	0,4348

TABLA DE RANGOS DE TRABAJO Sonda HMC5883L

Se podría haber usado sondas de menor sensibilidad como las de efecto hall, por ejemplo la AL1302, que tiene unos rangos muy superiores y además no trabajan en los 3 ejes:

Rango Max	384.615 μ Tesla
Sensibilidad	375,60 μ Tesla

TABLA DE RANGOS DE TRABAJO Sonda HMC5883L

PUESTA A CERO Y CALIBRACIÓN

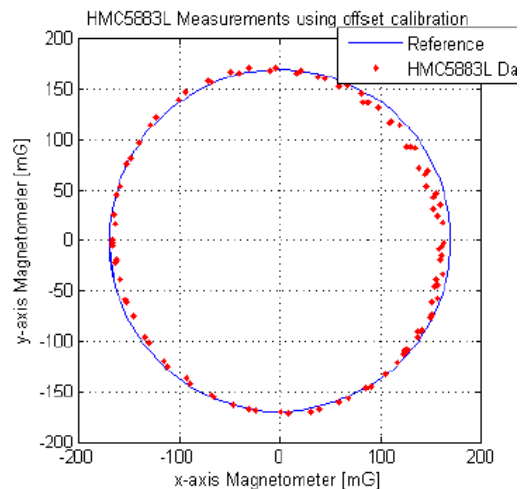
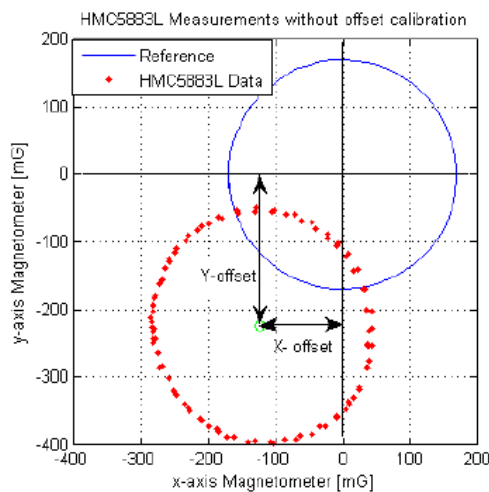
Calibración

El hardware usado con el programa *M1* no requiere una calibración o compensación, en cambio si se quiere hacer mediciones de otra índole será necesario dicha calibración existiendo la disponibilidad de esas librerías en programas como el *M2*.

La calibración puede hacerse en dos sentidos de offset o desplazamiento y de ganancia.

Calibración del offset

En el primer caso, se trata de conocer los valores y ajustarlos respecto a un cero, siendo las lecturas “simétricas” como se ven en la gráfica.



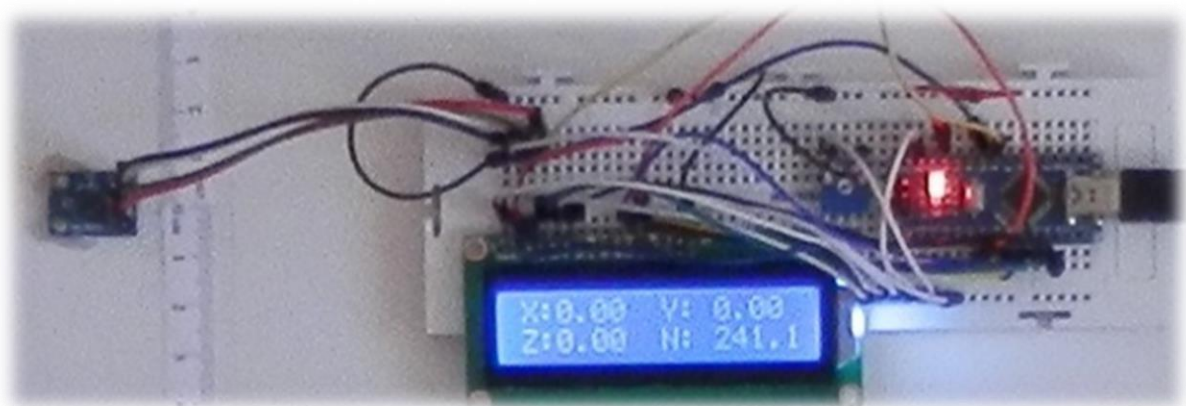
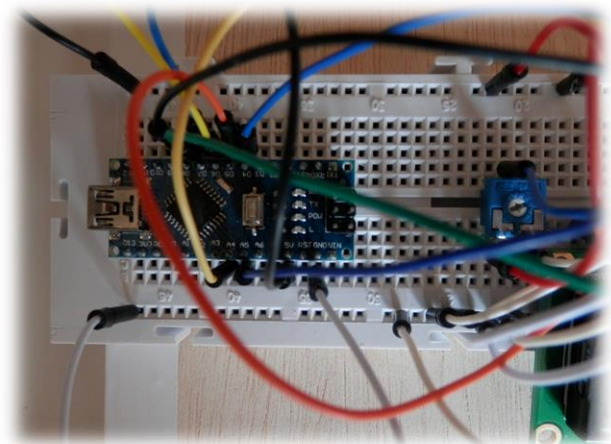
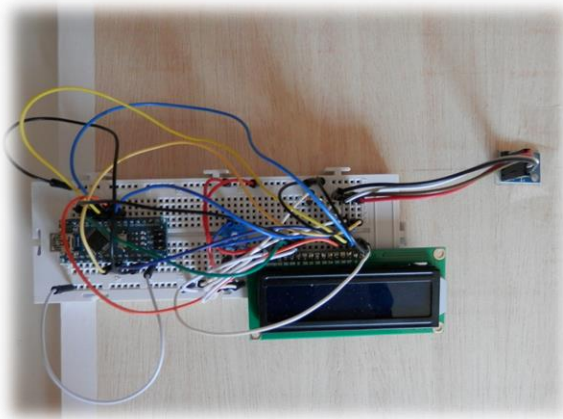
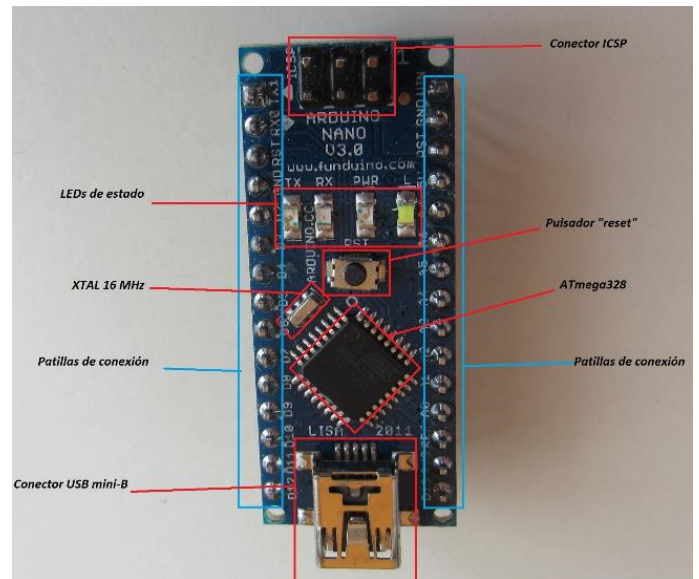
Calibración de ganancia

Es el proceso más complejo, se trata de cuando hay un **entorno fuertemente diamagnético asimétrico** (como un barco), y que hace que los valores registrados en vez de reportar una circunferencia se registre un ovoide necesitando corregir las ganancias leídas para lograr convertir el ovoide en un círculo que garantice unos datos fiables.

Puesta a cero

Para poder medir estas variaciones el programa se pone a cero tras cada reseteo de tal forma que elimina las mediciones de los campos magnéticos ambientales y estacionarios en ese momento.

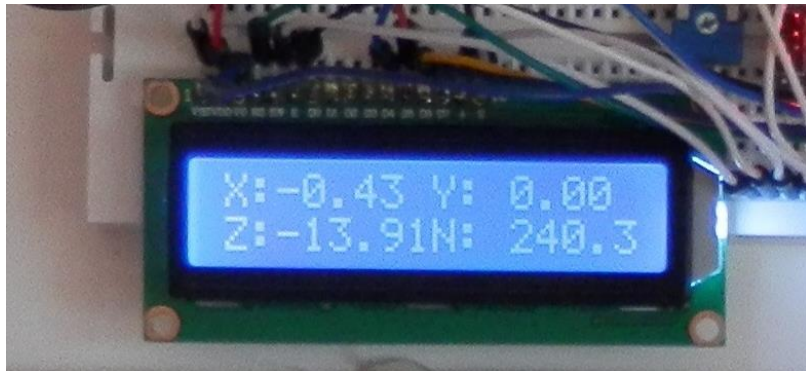
Cada vez que se quiera poner a cero, porque ha existido algún cambio ambiental o de posición del banco de trabajo, se puede realizar usando el botón reset o reiniciando el equipo.



DATOS MOSTRADOS

En este manual se especificará su uso con el programa *M1*. Mediante este programa el magnetómetro MMIT muestra los siguientes datos:

- la componente X, Y y Z del campo magnético inducido en el ambiente tras la puesta a cero, son reportados en unidades del sistema internacional μT .
- La orientación del norte magnético ambiental como mero referente o indicador de las componentes X e Y.



DISEÑO

Teniendo en cuenta que el diseño ha tenido una parte de Hardware y otra de Software se detallan de esta forma.

HARDWARE

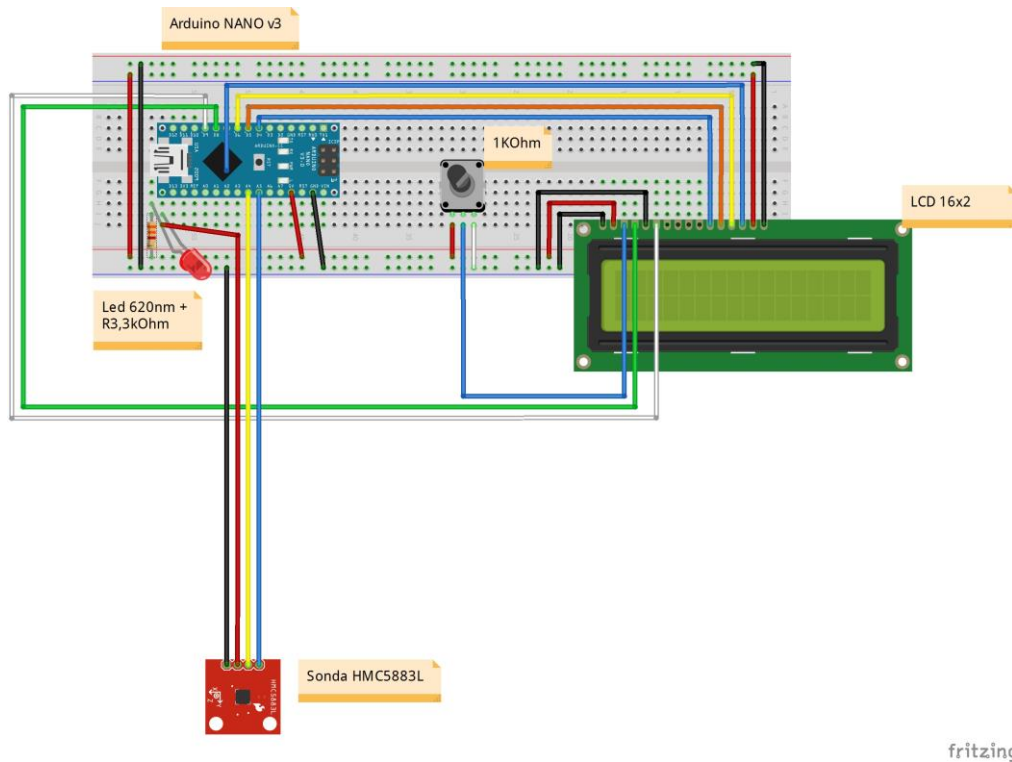
Como se ha justificado anteriormente se ha utilizado la sonda HMC5883L y se ha combinado con los siguientes componentes:

	Cant	Precio	Total
Placa Arduino nano	1	2,37 €	2,37 €
Potenciómetro multivuelta de 1k	1	0,50 €	0,50 €
Display LCD de dos filas y 16 columnas	1	2,81 €	2,81 €
Resistencias de un 3,3K	1	0,35 €	0,35 €
Sensor Honeywell HMC5883L	1	2,22 €	2,22 €
Placa, estaño y cables	1	1,00 €	1,00 €
			9,25 €

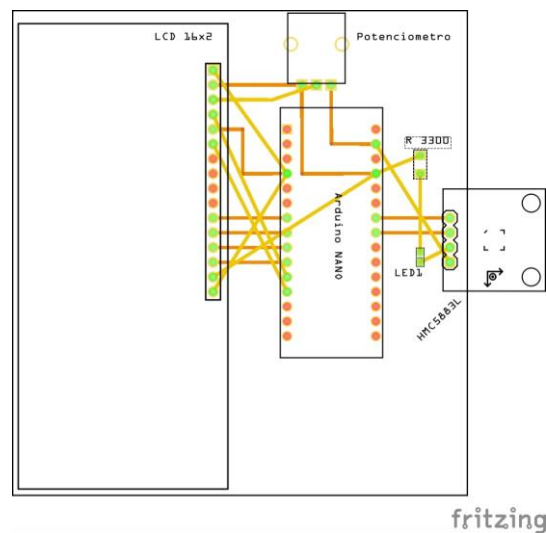
El precio del dispositivo está prácticamente entre el 5 y el 10% de un equipo comercial de prestaciones similares.

EL CIRCUITO ELECTRÓNICO

A continuación se muestra el diseño gráfico sobre una protoboard, el cual es fácilmente reproducible, incluso sin su entendimiento conceptual:



Si se desea integrar en una placa soldados todos los componentes el diagrama del PCB sería:

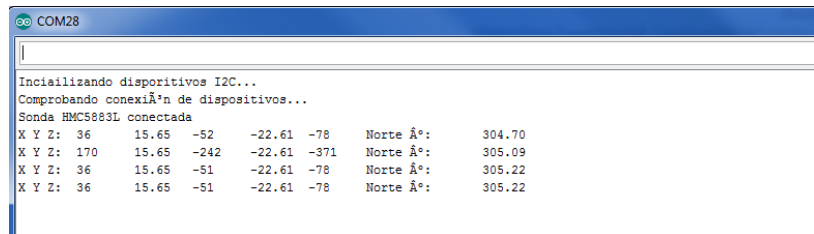


La placa tendrá unas dimensiones de 8x8 cm, soportando toda la electrónica incluido la superficie total del LCD. Esto permite que sea realmente pequeño y apto para su manejo portátil si así se deseara.

ALIMENTACIÓN

La alimentación es de 5V mediante puerto *mini USB* por lo que existen diferentes formas de hacerlo:

- Cable USB directo a un ordenador que además usando el monitor “Serie” de Arduino 1.6 se consigue transmisión directa por puerto serie como se muestra:



```
COM28
Iniciando dispositivos I2C...
Comprobando conexión de dispositivos...
Sonda HMC5883L conectada
X Y Z: 36 15.65 -52 -22.61 -78 Norte Å: 304.70
X Y Z: 170 15.65 -242 -22.61 -371 Norte Å: 305.09
X Y Z: 36 15.65 -51 -22.61 -78 Norte Å: 305.22
X Y Z: 36 15.65 -51 -22.61 -78 Norte Å: 305.22
```

Esto también permitirá en mejoras futuras poder montar un entorno gráfico con “Processing”.

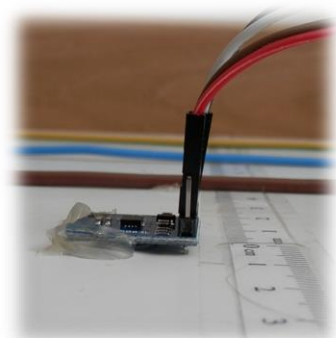
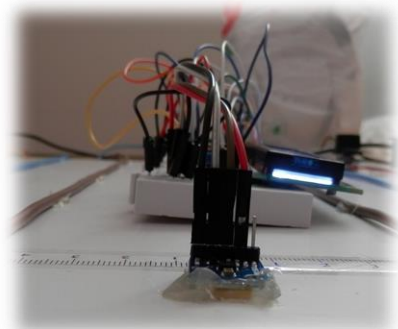
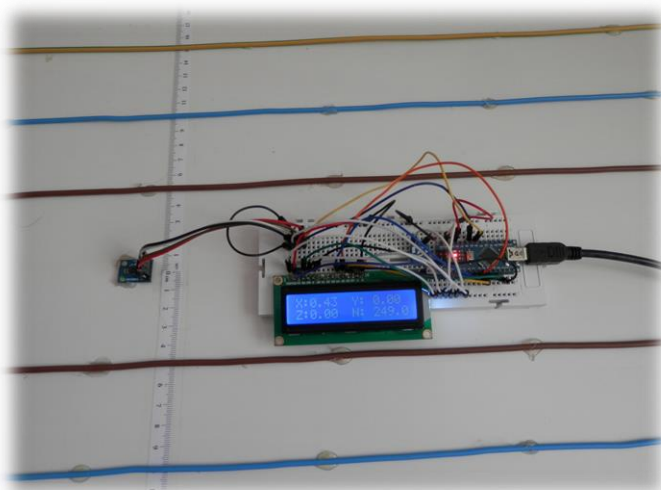
- Alimentación mediante 4 pilas AA con un soporte diseñado a tal uso.
- Uso de un powerbank de 5V y 2200 mAh.



MONTAJE EN EL BANCO DE TRABAJO

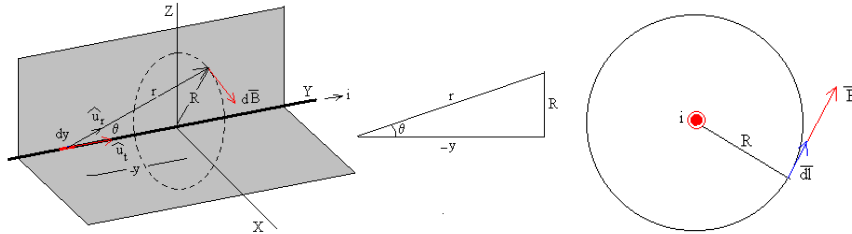
Es necesario garantizar que la sonda HMMC5883L, que mide en los 3 ejes, **tenga uno de los ejes paralelo a la línea que inducirá el campo y además uno de los otros dos ejes atraviese el centro geométrico del cable.**

De esta forma permitirá trabajar sobre una sola de las componentes del campo magnético en vez de sobre varias.

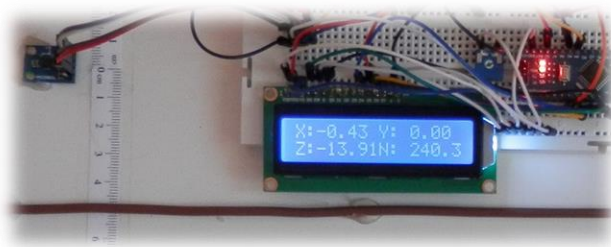


Por ello se ha **realizado una puesta a cero y fijación permanente de la sonda al banco**. La elección de la orientación correcta para la fijación ha sido gracias a las premisas de Biot Savart y Ampere; ya que un

conductor rectilíneo forma un campo magnético con líneas en forma de anillos concéntricos. Por lo tanto si la sonda es colocada con un eje paralelo al conductor y otro cortando el centro geométrico del cable **solo generará componente en sobre el tercer eje.**



Dibujos de (Franco García , Física con Ordenador, 2016)



RESULTADO TRAS LA CORRECTA ORIENTACIÓN.

SOFTWARE

Como se ha adelantado, el hardware soporta infinidad de programas propios o ajenos programados con Arduino.

Además el magnetómetro MMIT, está construido con una sonda HMC5883L, que **tiene unos rangos de trabajo y sensibilidad configurables mediante de la modificación del software**, vistas al principio de este documento.

En este manual, se usará como ejemplo, el programa *M1* para entender su uso y desarrollo.

CÓDIGO FUENTE

```
// Este código se ha creado para el desarrollo de un proyecto de docencia en experimentación de campos magnéticos.  
// se ha empleado código de terceros como original. Su uso es de libre distribución siempre que se haga referencia a los  
// autores
```

```
// Las librerías I2Cdev y HMC5883L deben ser instaladas como .cpp/.h  
// para ambas clases deben ser instaladas en la dirección de tu proyecto  
//El código de la librería I2Cdev está bajo licencia del MIT  
//Copyright (c) 2011 Jeff Rowberg. Actualizaciones en https://github.com/jrowberg/i2cdevlib  
#include "I2Cdev.h"
```



```
// Arduino Wire library es requerida para implementar I2Cdev I2CDEV_ARDUINO_WIRE, I2Cdev.h
#include "Wire.h"

//Incluimos la librería propia del sensor
#include "HMC5883L.h"

//Incluimos la librería del LCD
#include <LiquidCrystal.h>

//Crea un Objeto LCD. Parámetros (rs, enable, d4, d5, d6, d7)
//NO USAR LOS PIN 2 Y 3 PORQUE HAY PROBLEMAS DE INTERFERENCIA CON EL I2C. Los d's
corresponden con las salidas digitales del arduino.
LiquidCrystal lcd (8, 9, 4, 5, 6, 7);

// class default I2C address is 0x1E
// specific I2C addresses may be passed as a parameter here
// this device only supports one I2C address (0x1E)
// Definimos una variable MAG según está en la librería
HMC5883L mag;

int16_t mx, my, mz; // Definimos un entero de 16bit que serán los valores en cada uno de los ejes
float imx=0, imy=0, imz=0; // Definimos los enteros para tener mG
float Gain=0.0; //Se usará para la ganancia en base al rango configurado
float compass_x_offset=0, compass_y_offset=0, compass_z_offset=0; //Se usará para poner rangos a
0
int connection=0;

#define LED_PIN 13
bool blinkState = false; //Variable para conocer el estado de un LED*/

void setup() {
  lcd.begin(16,2); //Inicializa la interface para el LCD y determina dimensiones 16 columnas y 2 líneas.
  Wire.begin(); // Conecta I2C Bus (La librería I2Cdev no lo hace automático)

  // Inicializamos la comunicación serie
  // (Elegimos 38400 porque trabaja bien a 8MHz y a 16MHz)
  Serial.begin(38400); // Deberás configurar el COM del PC a esa misma velocidad

  // initialize device
  Serial.println("Iniciando dispositivos I2C...");
  mag.initialize();

  //Verificamos conexión con la sonda HMC5883L
  Serial.println("Comprobando conexión de dispositivos...");
  Serial.println(mag.testConnection() ? "Sonda HMC5883L conectada" : "Sonda HMC5883L fallo de
conexión"); // Da respuesta en función de la conexión correcta o incorrecta
  lcd.setCursor(0,0); //Marcamos la posición
  lcd.print("Sonda HMC5883L:");
  lcd.setCursor(0,1); //Marcamos la posición
```



```
lcd.print(mag.testConnection() ? "conectada" : "fallo de conexión"); // Da respuesta en función de la
conexión correcta o incorrecta
```

```
connection = mag.testConnection();
if(connection==0)//Si no está conectada se queda mostrando el mensaje
  delay(999999);
  delay(1000);
```

```
/* Gaussimetro para docencia con sonda HMC5883L. Se refiere al bit menos significativo cuantos Gauss
son. La sensibilidad
```

Rangos de medición y sensibilidad

Value | Field Range | Gain (LSB/Gauss) LSB significa bit menos significativo

```
* -----+-----+-----
* 0 | +/- 0.88 Ga | 1370
* 1 | +/- 1.3 Ga | 1090 (Default)
* 2 | +/- 1.9 Ga | 820
* 3 | +/- 2.5 Ga | 660
* 4 | +/- 4.0 Ga | 440
* 5 | +/- 4.7 Ga | 390
* 6 | +/- 5.6 Ga | 330
* 7 | +/- 8.1 Ga | 230
*/
```

```
mag.setGain(7); // Selección de rango +/-8Ga y sensibilidad 230 LSB/Gauss
Gain = (230.0/1000.0)*10.0; // Según el rango elegido LSB/mG para operar en el programa con esa
sensibilidad y le añadimos el factor para trabajar en LSB/ $\mu$ T
```

```
lcd.setCursor(0,0); //Marcamos la posición
lcd.print("Magnetometro TFM");
lcd.setCursor(0,1); //Marcamos la posición
lcd.print("-/+800 $\mu$ T Sen:0,44 $\mu$ T");
delay(3000);
```

```
// configure Arduino LED for
pinMode(LED_PIN, OUTPUT);
```

```
mag.getHeading(&mx, &my, &mz); // Lee los valores sin transformar del sensor
//Calcula los valores de los campos ambientales para ponerlo a cero con las nuevas distorsiones
incluidas
compass_x_offset = mx/Gain;
compass_y_offset = my/Gain;
compass_z_offset = mz/Gain;
}
```

```
void loop() {
```

```
mag.getHeading(&mx, &my, &mz); // Lee los valores sin transformar del sensor
```

```
/*convertimos a mG dependiendo de la sensibilidad configrada LSB/Gauss
LSB/unit es un factor llamado sensibilidad que depende de la configuración del sensor elegida
y que usaremos como multiplicador para los valores obtenidos de "mag".
Estos valores se obtienen de la hoja de datos que en este caso es configurable.
```



```
*/  
  
/* Serial.print("compass_x_offset"); Serial.print("/t");  
   Serial.print("compass_y_offset"); Serial.print("/t");  
   Serial.print("compass_z_offset"); Serial.print("/t");  
   Serial.print("/n"); Para mostrar el campo magnético ambiental*/  
  
imx = (mx/Gain)-compass_x_offset;//Le compensa los campos en X  
imy = (my/Gain)-compass_y_offset;//Le compensa los campos en Y  
imz = (mz/Gain)-compass_z_offset;//Le compensa los campos en Z  
  
// display tab-separated gyro x/y/z values  
Serial.print("X Y Z:\t");  
Serial.print(mx); Serial.print("\t");  
Serial.print(compass_x_offset); Serial.print("\t");  
Serial.print(my); Serial.print("\t");  
Serial.print(compass_y_offset); Serial.print("\t");  
Serial.print(mz); Serial.print("\t");  
  
//Mostramos los títulos en la caebecera para ahorrar procesamiento  
lcd.clear();  
lcd.setCursor(0,0); //Seteamos la ubicación texto 1 linea 1 que será escrita el LCD  
lcd.print("X:");//Marcamos lo que mostramos  
lcd.setCursor(8,0); //Seteamos la ubicación texto 1 linea 1 que será escrita el LCD  
lcd.print("Y:");//Marcamos lo que mostramos  
lcd.setCursor(0,1); //Seteamos la ubicación texto 1 linea 1 que será escrita el LCD  
lcd.print("Z:");//Marcamos lo que mostramos  
lcd.setCursor(8,1); //Seteamos la ubicación texto 1 linea 1 que será escrita el LCD  
lcd.print("N:");//Marcamos lo que mostramos  
  
//Mostramos los valores en la caebecera para ahorrar procesamiento  
lcd.setCursor(2,0); //Seteamos la ubicación texto 1 linea 1 que será escrita el LCD  
lcd.print(imx);//Marcamos lo que mostramos  
lcd.setCursor(11,0);  
lcd.print(imy);  
lcd.setCursor(2,1);  
lcd.print(imz);  
  
// Calcula el norte magnético en grados. 0º es el norte magnético  
if(my!=0 && mx!=0) //Solo opera cuando hay nuevo centro magnético  
{  
  float heading = atan2(my, mx); //Da el ángulo en radianes que se desvía  
  float heading_print;  
  if(heading < 0)  
    heading += 2 * M_PI; //Para ponerlo positivo  
  Serial.print("Norte º:\t");  
  heading_print = heading * 180/M_PI;  
  Serial.println(heading_print); //Imprimirlo y convertirlo en grados.  
  
  lcd.setCursor(11,1); //Seteamos la ubicación texto 0 linea 1 que será escrita el LCD  
  lcd.print(heading_print); //Mostramos el valor de la orientación
```



```
}  
  
// Parpadea el LED como muestra de actividad  
blinkState = !blinkState;  
digitalWrite(LED_PIN, blinkState);  
delay(400);  
}
```

BIBLIOGRAFÍA

- Adafruit. (15 de 05 de 2016). *ADAFRUIT - Manual de programación en ARDUINO*. Obtenido de <https://learn.adafruit.com/adafruit-hmc5883l-breakout-triple-axis-magnetometer-compass-sensor/wiring-and-test>
- Arduino. (21 de junio de 2016). *Arduino Official Web*. Obtenido de <https://www.arduino.cc/>
- Ibáñez Díez, D. (2016). *Magnetismo Experimental: Construcción del equipo y diseño de prácticas cuantitativas*. Valladolid.