

## Práctica No. 02: Encoder Incremental con resolución de 5 grados

**Flores Ferro Andrés David<sup>a</sup>, Lara Alvarez Amy Guadalupe<sup>b</sup>, Urquides Brito Cristóbal<sup>c</sup>**

<sup>a b c</sup> Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México, Av. Universidad 3000, Ciudad Universitaria, Coyoacán, CDMX C.P. 04510, México.

### OBJETIVO GENERAL

- Implementar circuitos para convertir la señal proveniente de un transductor que convierte una variable mecánica en una eléctrica.

### OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Aplicar los conocimientos adquiridos sobre sensores de posición angular.
- Crear circuitos para procesar la señal proveniente del transductor.
- Asociar la señal proveniente del transductor a una posición angular.

### 1. Introducción (1.5 puntos)

Se deberá crear un encoder incremental con una resolución de 5° aplicando los conocimientos adquiridos sobre sensores de posición angular.

Un encoder incremental es un transductor de posición angular que utiliza pulsos para conocer su posición. Su parte mecánica es un disco que consta de pistas con un arreglo de “ventanas” opacas y otras huecas. Mientras que su parte electrónica consta de uno o más emisores infrarrojos ubicados en un lado del disco, así como receptores infrarrojos en el lado opuesto de éste.

El encoder incremental comienza en cero y en dado caso que se presente una falla, se debe de reacomodar su parte mecánica para actualizar su posición desde cero con la finalidad de que el sistema electrónico lo identifique.

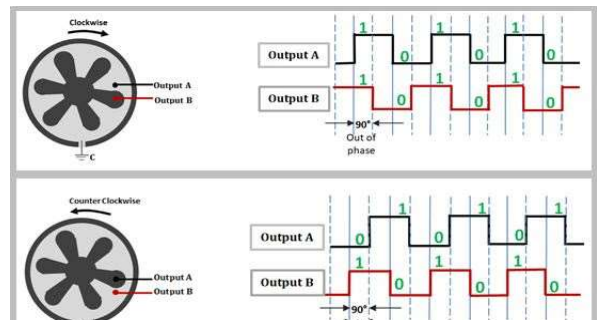
### 2. Materiales y Metodología. (2 Punto)

#### Materiales

El material empleado para todo el desarrollo de la práctica es el siguiente:

- 2 pares de Emisores y receptores infrarrojos como transductores para encoder.
- Diseño mecánico:
  - Disco graduado impreso en papel.
  - Disco de MDF como divisiones encoder.
  - Cobertura sólida para receptores (PLA)
  - Impresora 3D.
  - Corte Laser
  - Cartón, silicón líquido y acetato.
- Microcontrolador Arduino UNO.
- LCD 16x2 con modulo para I2C.
- Laptop- software Arduino y alimentación circuito.

Para el desarrollo de la práctica número dos, se decidió seguir el siguiente concepto como base para su desarrollo.



De forma resumida, para realizar el encoder incremental, se propone el uso de dos sensores detectores, siendo de suma importancia la colocación de estos, de tal forma que permita tener los cuatro estados diferentes que se pueden visualizar en la ilustración 1, y se logren generar las salidas deseadas, de igual forma, con base en el GIF de la referencia 3, permite tener el concepto mucho más claro. Este concepto permite conocer el estado actual del sistema, donde podemos conocer su sentido de giro y la cantidad de veces que se va generando cierta salida, siendo solución a la problemática a resolver para el desarrollo de esta práctica. Contemplando ya el dispositivo que buscamos desarrollar, es importante considerar las restricciones con las que se cuentan para el mismo, colocadas a continuación:

- Si el alumno considera necesario, se puede adicionar circuitos como filtros, comparadores o amplificadores para mejorar la señal proveniente del transductor.
- Se puede utilizar electrónica analógica, digital o una combinación.
- Si se utiliza un microcontrolador, se deberá de explicar el programa.
- Si utiliza una librería deberá de explicarla.
- La pantalla que muestre la información puede ser un LCD, Leds de 7 segmentos, o arreglos de leds.

Por situaciones particulares del equipo, y tiempos de entrega, se decidió no buscar los dos puntos extra de no emplear algún microcontrolador o similares.

Para finalizar, quedaría pendiente adecuar el concepto presentado a nuestro caso particular, un encoder incremental con una resolución de cinco grados, y ya conociendo el concepto a perseguir se proponen las siguientes actividades:

1. Selección de transductor y visualizador a emplear.
2. Selección de microcontrolador.
3. Generación del diseño mecánico.
4. Llevar el concepto al microcontrolador.
5. Armado del dispositivo para muestra de práctica.

### 2.1. Selección de transductor y visualizador a emplear.

Para el desarrollo de un encoder incremental, se puede ocupar cualquier tipo de transductor que permita enviar y recibir una señal a través de este, por lo que se restringió para la práctica que fuera a través de la luz, quedando con las opciones de emplear fotodiodos, foto transmisores y receptores.

Para esta práctica, se decidió ocupar foto transmisores y receptores del rango de luz infrarrojo con el objetivo de reducir un poco la interferencia de luz al sistema, sin embargo, se deberá considerar posteriormente las dimensiones de este para elementos mecánicos que reduzcan la señal a enviar y recibir de los transductores empleados, y la señal se comporte como el concepto a seguir.

Acorde a nuestras posibilidades, contábamos con infrarrojos de 5 mm o bien, usar detectores fotoeléctricos, sin embargo, viendo que el detector fotoeléctrico nuevamente restringía el espesor del encoder, se tomó la decisión de desarrollar la cubierta de los infrarrojos por propia cuenta, empleándose como se visualizan en la ilustración 2.



Ilustración 3 Transductor infrarrojo emisor y receptor.

Ahora bien, con respecto al punto “Visualizador”, se buscó que fuera fácil de comprender nuestra salida al usuario que opere el encoder, por lo que descartamos el uso de arreglo de leds y/o segmentos, tomando la decisión de enviar mensajes de texto, a través de una pantalla LCD de 16x2, siendo suficiente para las cadenas que se buscan colocar para el usuario, así como también contemplando la experiencia del equipo, que se cuenta ya con el material por el desarrollo de la carrera, y facilitando conexiones, una pantalla que reduce a solo conectar mediante el protocolo de comunicación I2C.



Ilustración 2 LCD 16x2 I2C

### 2.2. Selección de microcontrolador.

La razón de porque deseamos ocupar un microcontrolador es la necesidad de realizar ciertas acciones con respecto a lo que ocurra en los transductores seleccionados, requiriendo que cuente con entradas digitales para poder considerar lo que se reciba del transductor, así como también que se otorgue la alimentación correspondiente a los emisores seleccionados. Ahora bien, la idea buscada para el concepto implica que se utilizarán interrupciones que permitirá una actualización de cambio mucho más rápida para el sistema. Acorde a la experiencia de los que desarrollan la práctica para el uso de los dispositivos mencionados se optó por el uso del modelo de Arduino, Arduino UNO (ilustración 4), ocupando el Software (Arduino IDE) y brinda la opción de observar mediante puerto serial los valores que se perciben, siendo de utilidad para el previo desarrollo de la práctica y permitirá llevarlo con facilidad a una pantalla LCD con el uso de librerías que se encuentran dentro del mismo IDE.



Ilustración 4 Microcontrolador Arduino UNO

### 2.3. Generación del diseño mecánico.

Acorde al transductor y el concepto planteado se proponen el uso de tres elementos mecánicos indispensables para el desarrollo de la práctica:

- Disco que permita contemplar la resolución solicitada. Conociendo y desarrollando la ecuación 3.1, se conoce la cantidad de orificios que deberá de contener nuestro disco para el encoder, donde se puede mencionar que el resultado es de setenta y dos (72) aberturas, y permitirán tener la secuencia deseada para el concepto. Acorde al mismo, existió la posibilidad de reducir a la mitad la cantidad de aberturas, sin embargo, el disco resultado, sería mucho más pequeño y complicaría más la colocación del sistema, por lo que se decidió tener el total de aberturas.





#### 2.4. Llevar el concepto al microcontrolador.

Para el desarrollo de la parte funcional de la práctica se propone realizar dos veces el siguiente circuito de manera replicada, por el concepto que requiere el uso de dos pares para que funcione el transductor, exceptuando que el emisor y receptor no se colocan dentro de la ProtoBoard, solo los cables de los cuales se soldarán, debido a que tendrán una colocación en una parte separada dentro de la caja, así mismo, se decidió mantener el uso de los Leds, permitiendo que a la hora del armado, facilitará la calibración del sistema, dando una visualización física de la señal recibida.

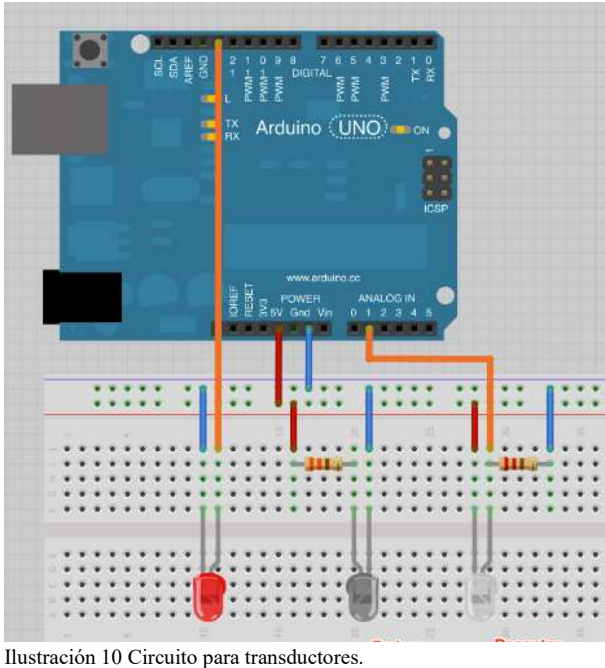


Ilustración 10 Circuito para transductores.

Otra parte del circuito a desarrollar es la implementación de la pantalla LCD 16 x 2, que cuenta con la reducción de cables, gracias a la implementación del modulo trasero, llevando al protocolo de comunicación I2C.

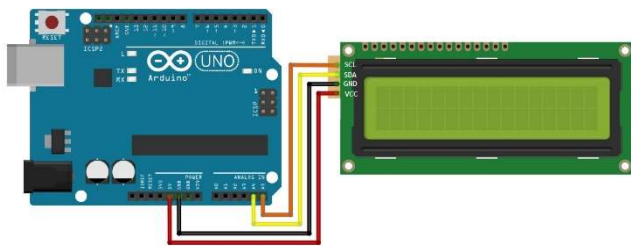


Ilustración 9 Circuito para LCD 16x2 I2C

Para emplear la pantalla LCD con el módulo I2C se utilizaron las librerías:

```
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
#include <Wire.h>
```

Dichas librerías funcionan para comunicar información que se obtiene en el programa principal y se desee visualizar con el usuario.

Se inicializan las variables a utilizar como son los pines de comunicación en el Arduino, incluyendo la inicialización para el uso de la LCD. También se crean las variables que se utilizarán en la obtención de la información para cumplir los objetivos.

```
LiquidCrystal_I2C lcd(0x27,16,2);
```

```
int sensorA= 3;
int sensorB= 2;
```

```
volatile int pulso=0;
int contadorAnter=0;
int vueltas=0;
int angulo=0;
```

Se configura el inicio del programa, declaramos el pin del sensor B como una entrada digital, se inicializa la función de interrupción en el pin del sensor A, al mismo tiempo se declara el tipo de interrupción, en este caso fue una interrupción por flanco de subida. Se configura la tasa de refresco en el monitor serial y el inicio de la pantalla LCD.

```
void setup() {
  pinMode(sensorB,INPUT);
  attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(sensorA), interrupA,
  RISING);
  Serial.begin(57600);
  lcd.init();
  lcd.backlight();
  lcd.print("Bienvenido, gire");
}
```

En la función del programa que se estará repitiendo se realiza la comparación de inicio del giro, para limpiar la pantalla e imprimir la nueva información.

También se hace la comparación entre las interrupciones para actualizar la información siempre y cuando se realice una nueva interrupción, lo cual nos permite realizar las operaciones matemáticas donde sabremos el ángulo en que se posiciona, el número de vueltas realizadas y el sentido de giro.

```
void loop() {
  if(abs(pulso) == 1){
    lcd.setCursor(0,0);
    lcd.print("Angulo: ");
    lcd.setCursor(12,0);
    lcd.print("V:");
  }
  if( pulso != contadorAnter){
    angulo=360*(abs(pulso)-vueltas*72)/72;
    vueltas=abs(pulso)/72;
```

```

lcd.setCursor(8,0);
lcd.print(" ");
lcd.setCursor(8,0);
lcd.print(angulo);
lcd.setCursor(14,0);
lcd.print(" ");
lcd.setCursor(14,0);
lcd.print(vueltas);

Serial.println(angulo);
if( pulso > contadorAnter){
  lcd.setCursor(2,1);
  lcd.print(" HORARIO");
}
else{
  lcd.setCursor(2,1);
  lcd.print("ANTIHORARIO");
}
contadorAnter=pulso;
}
}

```

La función final se trata de la orden que se ejecuta cuando ocurre una interrupción, para ello se utilizará la señal del sensor B, cuando se lee la señal si la señal está apagada se suma 1 a la variable contador de pulsos, sin embargo, si está encendida se resta 1. Esto se debe a la secuencia que siguen las señales del encoder.

```

void interrupA(){
  if(digitalRead(sensorB) == LOW){
    pulso++;
  }
  else{
    pulso--;
  }
}

```

## 2.5. Armado del dispositivo para muestra de práctica.

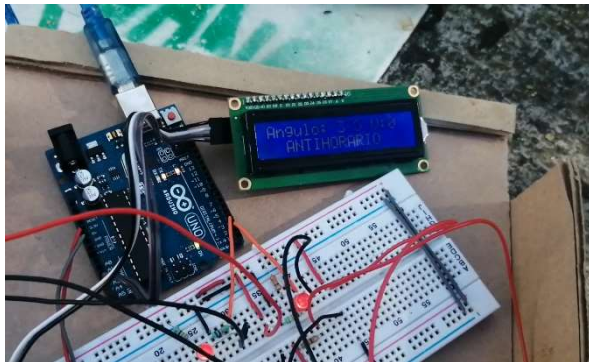


Ilustración 11 Sección electrónica encoder

Como se indicaba en el diseño mecánico, el sistema cuenta con una sección para todo el circuito planteado con el uso de una ProtoBoard, y la sección donde se realiza la función del encoder planteado.

El desarrollo del circuito fue tal cual planteado en su diseño, replicando los circuitos que se pueden visualizar en las ilustraciones 9 y 10. No se requirió el uso de ningún tipo de filtro para las señales, ni algún elemento extra.



Ilustración 12  
Colocación de transductores

Para la sección del funcionamiento del encoder, se aprovechó el armado de la estructura para realizar la colocación de los transductores utilizados, donde se puede visualizar en la ilustración 13, que, del lado derecho, se encuentran los emisores de infrarrojo, pegados con el uso de silicón líquido.

Ahora bien, para la colocación de los receptores, ya ingresados dentro de su cobertura mencionada, se colocaron cada uno de un lado diferente del encoder, variando al diseño presentado en el concepto, sin embargo, persiguiendo la misma idea de generar la secuencia contemplada en la referencia [3]. Para ello, se colocó el primero donde se pudiese visualizar que la señal pasará por el encoder. Al asegurar el primero, restaría colocar el segundo y realizar el pequeño ajuste necesario para que apuntara de forma diferente al anterior, y se logre la secuencia contemplada como se puede visualizar en la ilustración siguiente. Algo que permitió con mayor facilidad su colocación fue contar con una salida física, ayuda de leds como indicadores.

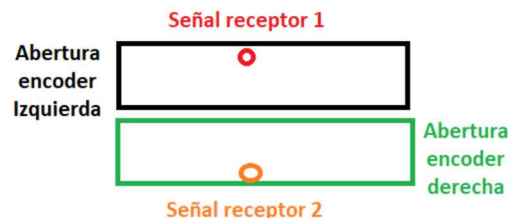


Ilustración 13 Colocación de receptores. (Círculo de recepción 2mm)

Por último, solo quedo verificar detalles entre el código y el diseño entregado, siendo mínimos los ajustes para su correcto funcionamiento.

## 3. Ecuaciones

### 3.1. Resolución del encoder Incremental

Resolución = 5°

Resolución = 360° / Número de ranuras

$$\text{Número de ranuras} = \frac{360^\circ}{\text{Resolución}}$$

**Número de ranuras = 72 ranuras**

---

#### 4. Resultados (3 Puntos)

Gracias al uso de interrupciones en el desarrollo del código, el sistema desarrollado contaba con una alta precisión al cambio de ángulo y dirección de manera inmediata, entregando valores de un movimiento acorde a las divisiones buscadas al diseñar el disco, consiguiendo la resolución de cinco grados.

Sin embargo, al interactuar demasiado rápido presentaba errores de exactitud, a pesar de ellos eran mínimos y seguía teniendo la resolución de cinco grados solicitada, así como también entregaba el número de vueltas en sentido horario y antihorario, con la particularidad de poder reducir el número de vueltas horarias o antihorarias acorde al movimiento desde el punto inicial, teniendo la posibilidad de reiniciar a cero desde el microcontrolador.

La rigidez del sistema permitió que se pudiese interactuar de manera simple con el usuario, y sea bastante vistoso el uso del sistema, sin comprometer de alguna manera su funcionamiento por algún descuido o movimiento del usuario.

Por último, el uso de los transductores propuestos con la cubierta al receptor, reduciendo su radio de recepción permitió la alta precisión para realizar el movimiento e indicar su posición acorde a la resolución solicitada, por lo que puede mencionarse que se dio un correcto uso a ellos.



Ilustración 14 Diseño final presentado en clase

---

#### 5. Conclusiones (3 Puntos)

El desarrollo de la práctica número dos, llevo más tiempo de lo planeado debido a las complicaciones dadas por la situación escolar presentada en el mes de septiembre-octubre, reorganizando un nuevo equipo para el desarrollo de la misma, sin embargo, se considera que la formación de este nuevo equipo ha permitido una mejora en el desarrollo de las actividades para la materia de instrumentación.

El equipo considera que se logró comprender y aplicar un par de transductor mecánicos a eléctricos con el uso de alguna variante de luz para poder generar un encoder incremental que permite detectar la dirección de giro, y su ubicación en grados (posición angular), acorde al giro, considerando un éxito en el desarrollo de los objetivos planteados en la práctica.

---

#### 6. REFERENCIAS (0.5 Punto)

6.1. Beiroa, R. (2018). *Aprender: Arduino, electrónica y programación con 100 ejercicios prácticos*. Madrid: Marcombo.

6.2. Márquez Correo, F. J. (2022). *Formato de reporte* [PDF] Disponible en Educafi, plataforma del curso.

6.3. Reyes, Alfonso (25 Marzo 2017) *Lectura de un encóder con interrupciones en Arduino*. Artículo en <http://inventosdeandarporcasa.blogspot.com/>. Obtenido el 01 Noviembre de 2022. Disponible en: <https://images.app.goo.gl/ejoxATLVWoFSSjXS9>

6.4. Equipo Denki (2022). *Recursos generados desarrollando la práctica 2*. [GitHub] Disponible en: <https://github.com/AndresFloresF/PracticasInstrumentacion2023-1/tree/Instrumentacion/Practica2>