

## Docentes:

*Ing. Diego Alejandro Monroy Ortiz*

*Ing. Giovanni Baquero Rozo*

*Ing. Fredy Andrés Olarte*

# Proyecto final: Dispositivo medidor de temperatura basado en Arduino

*El proyecto final consiste en el diseño y la fabricación de un dispositivo medidor de temperatura y de humedad.*

## 1. Objetivo

Aplicar los conocimientos adquiridos para realizar el diseño e implementación de un sensor de temperatura y de humedad basado en Arduino.

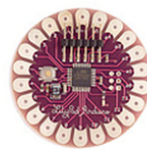
## 2. Marco teórico

### 2.1. Arduino

Arduino es una plataforma electrónica de código abierto basada en hardware y software de fácil utilización que permite la lectura y escritura de señales digitales y la lectura de señales analógicas a través de sus puertos.



Arduino UNO



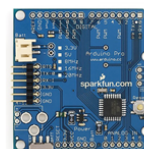
Arduino LilyPad



Arduino Mega 2560



Arduino FIO



Arduino PRO



Arduino Mega ADK

*Figura 1: Algunos tipos de tarjetas Arduino.*

Las placas Arduino son diseñadas por una comunidad internacional y utilizan diversos tipos de microcontroladores y microprocesadores para su funcionamiento y a cada tarjeta

principal pueden conectarse tarjetas auxiliares de propósito específico diseñadas para ajustarse físicamente las cuales se denominan Shields. Dentro de estas tarjetas adicionales podemos encontrar sensores, controladores para motores, módulos de comunicaciones, entre otros.

El Entorno de Desarrollo Integrado (IDE de sus siglas en inglés) de Arduino se encuentra escrito en Java y se basa en los lenguajes Processing y Wiring (diseñado por el colombiano Hernando Barragán). El IDE permite compilar y verificar errores en el código a través de una ventana.

Al abrir el entorno de desarrollo aparece una plantilla predeterminada de programación con dos funciones: *setup* y *loop*. La función *setup* se ejecuta una única vez al iniciar el programa en la tarjeta y permite la configuración inicial de entradas y salidas, así como cualquier configuración inicial de comunicaciones. La función *loop*, por su parte, se ejecuta permanentemente y permite programar el cuerpo del programa. Igualmente, el usuario puede crear funciones externas y declarar variables globales por fuera de las funciones predeterminadas.

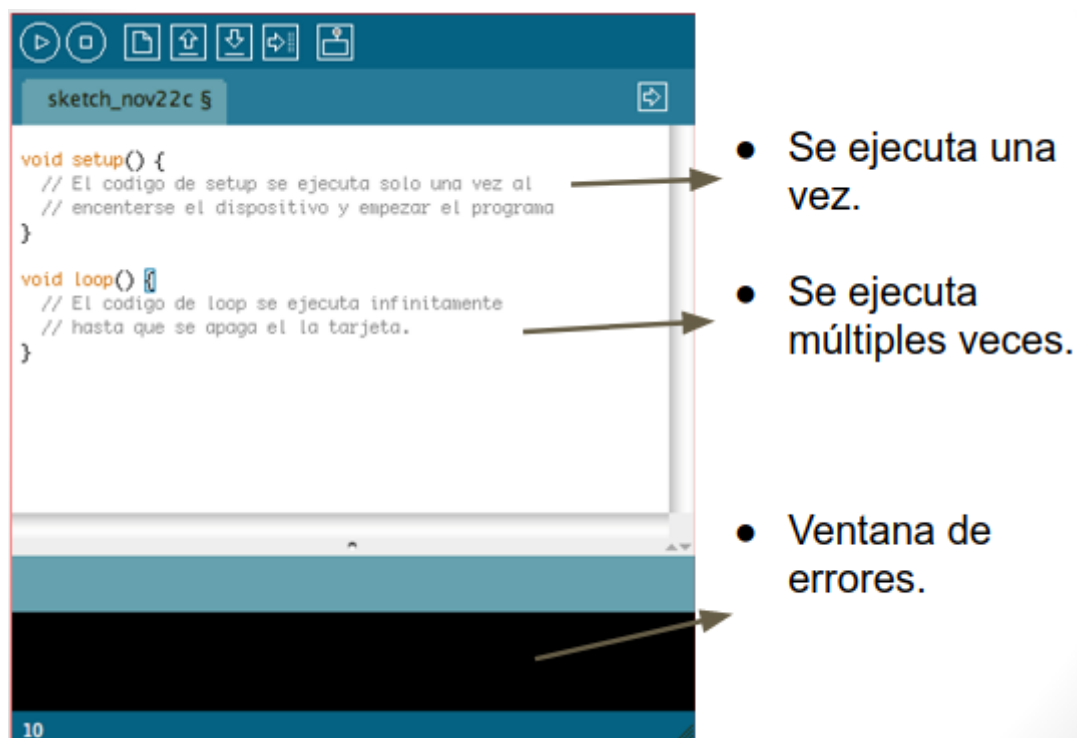
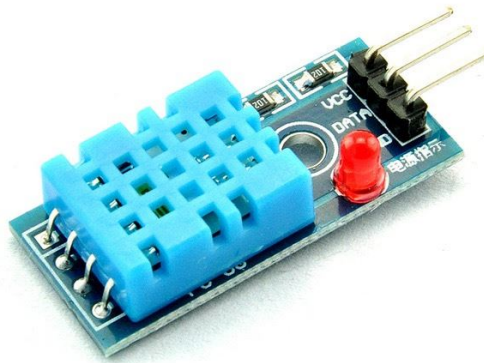


Figura 2: IDE de Arduino y sus partes.

## 2.2. Sensor DHT11

El dispositivo DHT11 es un sensor que permite medir la humedad relativa y la temperatura ambiental. El rango de medición de temperatura va desde 0 °C a 50 °C con una resolución de 1 °C, mientras el rango de medición de la humedad relativa va desde el 20 % hasta el 95 % con una resolución del 1%. El sensor se alimenta con una tensión de 3,3 V a 5 V, y está constituido por dos sensores resistivos, un termistor NTC y un sensor de humedad.



*Figura 3: Dispositivo sensor de temperatura y humedad relativa DHT 11.*

A continuación, se explica el código en Arduino para realizar la lectura de temperatura y humedad en el sensor DHT11:

```
#include "DHT.h"           //Añadimos la Biblioteca con la que trabaja el sensor
#define DHT11_PIN A0       // Indicamos el pin de conexión del sensor
#define DHTTYPE DHT11     // DHT 11
DHT dht(DHT11_PIN, DHTTYPE); //Indicamos el pin con el que se trabaja y el tipo de sensor
int Temp;
int Hum;

void setup() {
    dht.begin();           //Iniciamos el sensor
}

void loop() {
    Temp = dht.readTemperature(); //Guardamos la lectura de la temperatura en la variable Temp
    Hum = dht.readHumidity();      //Guardamos la lectura de la humedad en la variable Hum
    delay(100);
}
```

*Figura 4: Código en Arduino para realizar la lectura de temperatura y humedad relativa en el DHT 11.*

Es necesario instalar la librería DHT11 en arduino antes de iniciar el programa, por lo que a continuación se propone el siguiente video acerca de cómo instalar librerías en arduino:

<https://www.youtube.com/watch?v=-RcN3q0sHGI>

## 2.3. Sensor de Luz

Una fotorresistencia LDR puede ser usada como elemento de medición de la cantidad de luz de un entorno. La idea básica consiste en asociar la resistencia de la fotorresistencia con la cantidad de luz incidente, debido a que existe una relación directa entre dichas magnitudes; no obstante, dicha relación puede no ser lineal, por lo que es necesario conocer la curva característica de la resistencia del componente usado en función de la iluminancia y hacer las consideraciones respectivas para mejorar la precisión del elemento.

Para esto, es necesario conocer los siguientes dos conceptos claves:

**Fotorresistencia LDR:** Es un componente sensible a la luz incidente, presenta propiedades resistivas variables frente a las variaciones de luz. En general, frente a mayor luz incidente, su resistencia eléctrica será menor, mientras, frente a menor luz incidente, su resistencia eléctrica será mayor.

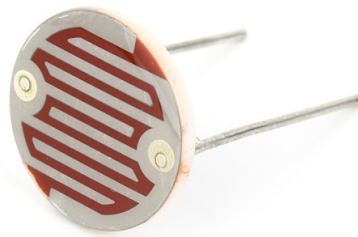
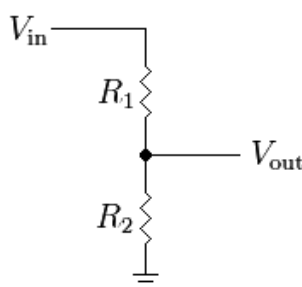


Figura 5: Fotorresistencia LDR.

**Divisor de tensión:** Un divisor de tensión consiste en un circuito formado por resistencias en serie, el cual causa que exista una caída de potencial a lo largo del circuito. Como ejemplo se tiene el siguiente circuito resistivo común,



Dicho circuito presenta una tensión en la terminal  $V_{out}$  dado por la siguiente expresión,

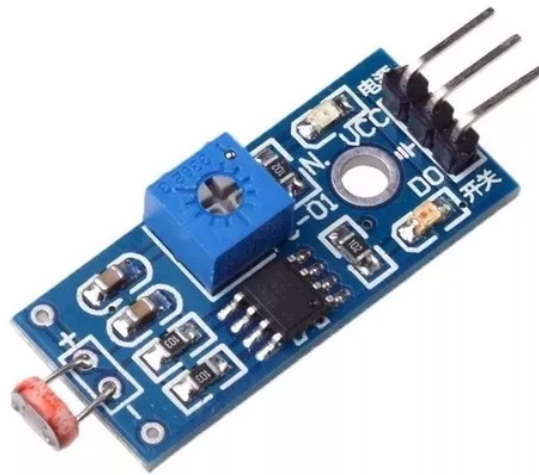
$$V_{out} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot V_{in}$$

Tal como se puede apreciar en la anterior expresión, la tensión de salida del circuito viene determinada por la combinación de valores de resistencias empleadas, así como la tensión de la fuente de alimentación. En caso de emplear una fuente con tensión de

alimentación fija y una resistencia R1, la tensión de salida estará determinada directamente por el valor de la resistencia R2 empleada.

El divisor de tensión puede emplear una fotorresistencia LDR como sustituto de R2 con la finalidad de obtener una tensión variable de salida en función de la luz incidente.

De igual manera, el siguiente módulo de arduino permite detectar la intensidad de luz de un ambiente al integrar en una placa una fotorresistencia, un comparador LM393, un potenciómetro para ajustar el umbral de luz y un arreglo de resistencias internas. Este módulo generar tanto una salida digital como analógica; la salida digital, proporciona un nivel de tensión bajo cuando la intensidad de luz excede el valor fijado por el potenciómetro y viceversa, mientras, la salida analógica proporciona un nivel de tensión proporcional a la intensidad de luz.



*Figura 6: Módulo Sensor de Luz por Fotorresistencia.*

## 2.4. Display 7 segmentos

Un display es un elemento electrónico que permite realizar la visualización de información al usuario de un cierto dispositivo. Esta información puede encontrarse en forma numérica, alfanumérica o gráfica.

Existen numerosos tipos de displays, desde los más simples compuestos por leds ubicados en matrices o filas, hasta las pantallas LCD que permiten visualizar imágenes en alta definición.

Dentro de los displays más simples se encuentran los 7 segmentos, que permiten la visualización de números del 0 al 9, puntos decimales y la construcción de una cantidad limitada de letras. Este display se encuentra compuesto por 8 leds que, al ser encendidos en el orden adecuado, permiten visualizar los dígitos. La estructura básica y la ubicación de los leds se muestra en la Figura 7.

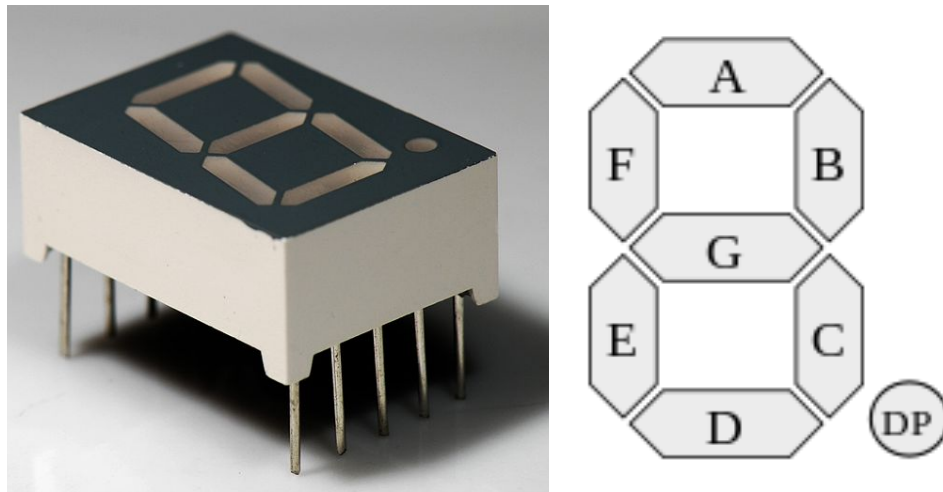
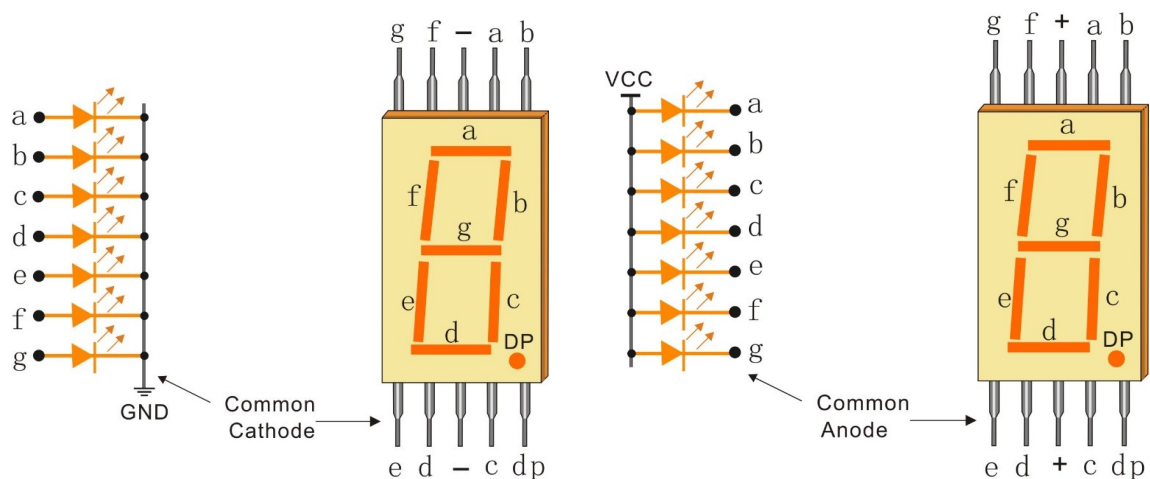


Figura 7: Display 7 segmentos y asignación de nombres por segmento.

A cada segmento le ha sido asignado un nombre, lo que permite realizar la conexión y encendido adecuado para la conformación de los dígitos, tal como se muestra en la Figura 7.

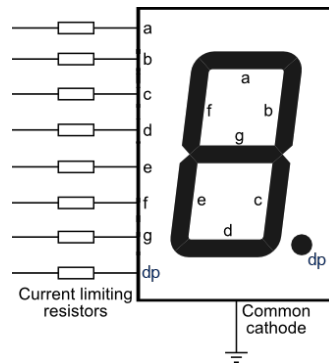
Existen dos tipos fundamentales de displays 7 segmentos, el ánodo común y el cátodo común, dependiendo de su configuración y conexión interna. En el ánodo común los ánodos de todos los leds han sido conectados entre sí internamente y en el cátodo común todos los cátodos de los leds se conectan entre sí. La configuración de ambos tipos de leds se muestra en la Figura 8.



Tomado de: <https://sites.google.com/site/stemosos2016arduino01/home/lesson-ten-7-segment-display>

Figura 8: Displays 7 segmentos de cátodo común (izquierda) y ánodo común (derecha)

Dado que cada segmento se compone de un led es necesario regular la corriente que se le suministra para evitar que se ocasione un daño sobre el dispositivo, por tanto, deben ubicarse resistencias de regulación a cada uno de los leds.



Tomado de: <http://carlini.es/display-de-4-digito-de-7-segmentos-en-la-raspberry-pi/>

Figura 9: Displays 7 segmentos con resistencias limitadoras de corriente.

Para visualizar cada uno de los números tendremos entonces, que activar o poner en un nivel lógico alto algunos de las entradas mientras que otras se mantienen en nivel bajo. A continuación, encontramos una tabla donde se aprecian los segmentos y los niveles lógicos que deben tener para conformar cada uno de los dígitos en un display de cátodo común.

Número	A	B	C	D	E	F	G
0	1	1	1	1	1	1	0
1	0	1	1	0	0	0	0
2	1	1	0	1	1	0	1
3	1	1	1	1	0	0	1
4	0	1	1	0	0	1	1
5	1	0	1	1	0	1	1
6	1	0	1	1	1	1	1
7	1	1	1	0	0	0	0
8	1	1	1	1	1	1	1
9	1	1	1	1	0	1	1

Figura 10: Tabla de estados lógicos para cada dígito en display de cátodo común.

## 2.5. Conversión BCD 7 segmentos

Existen diversas formas de representar o expresar una cantidad a través de los números dependiendo de la cantidad de dígitos o caracteres que usemos. Tradicionalmente se utiliza el



sistema decimal de numeración que permite 10 dígitos, pero, dada la utilización masiva de los sistemas digitales y, en general, de la computación, se ha hecho popular el sistema de numeración binario, donde únicamente se admiten dos caracteres (1 y 0 tradicionalmente), que corresponden a los estados alto y bajo de las señales digitales.

Decimal	Binario
0	0000
1	0001
2	0010
3	0011
4	0100
5	0101
6	0110
7	0111
8	1000
9	1001
10	1010

Figura 11: Tabla de estados lógicos para cada dígito en display de cátodo común.

Aunque el sistema binario es de amplia utilización en la lógica computacional, existe otro tipo de codificación denominado BCD (Binary Coded Decimal) que facilita la manipulación de los datos para su visualización en dispositivos como los displays 7 segmentos. En esta codificación se toma cada dígito decimal de forma independiente y se expresa en su representación binaria, lo cual permite tratar cada dígito o cada display con un circuito independiente.

A continuación, se presenta una tabla con la codificación en binario y en BCD para su comparación. Se observa que hasta el número 9 la codificación es idéntica en binario y en BCD, pero al pasar a 10, cuando se utilizan dos dígitos en decimal, la codificación cambia y se utilizan 4 dígitos para expresar el uno y cuatro dígitos para expresar el cero.

Decimal	Binario	BCD
0	0000	0000 0000
1	0001	0000 0001
2	0010	0000 0010
3	0011	0000 0011
4	0100	0000 0100
5	0101	0000 0101
6	0110	0000 0110

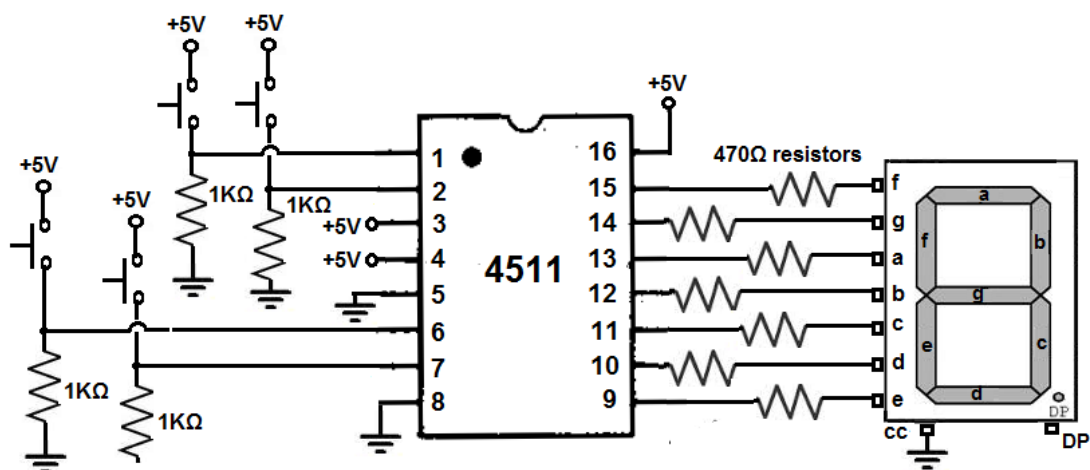


7	0111	0000 0111
8	1000	0000 1000
9	1001	0000 1001
10	1010	0001 0000
11	1011	0001 0001
12	1100	0001 0010
13	1101	0001 0011
14	1110	0001 0100
15	1111	0001 0101

Figura 12: Tabla de estados lógicos para cada dígito en display de cátodo común.

Con el fin de aplicar esta codificación en la visualización de números en displays existen circuitos electrónicos que permiten realizar la conversión de BCD a los estados lógicos del display 7 segmentos. Uno de estos dispositivos es el circuito integrado CD4511, el cual recibe como entrada cuatro dígitos binarios que corresponden a la codificación BCD y su salida se conecta directamente al display 7 segmentos de cátodo común.

En la Figura 13 puede observarse la conexión de un display 7 segmentos con un integrado CD4511, usando como entrada 4 pulsadores que actúan como generadores de la codificación BCD.



Tomado de: <http://www.learningaboutelectronics.com/Articles/4511-BCD-to-7-segment-display-decoder-circuit.php>

Figura 13: Conexión de display de cátodo común mediante circuito integrado CD4511.

## 2.6. Construcción de PCBs por termotransferencia

Existen diversas técnicas y procedimientos para la construcción de tarjetas de circuitos impresos a nivel industrial; sin embargo, para la construcción de prototipos de productos y proyectos académicos de baja y mediana complejidad, es muy utilizado el método artesanal o casero.

En este método se realiza el diseño de las pistas y pads mediante un software de diseño como KiCad o bien de forma manual, y se imprime sobre un papel no muy grueso como el papel termotransferible, papel de fotografía o sobre papel propalcote. Es necesario que la impresión del layout se realice en una impresora láser debido a las ventajas que ofrece en cuanto a precisión y adherencia al cobre.

En una placa de pertinax y cobre (placa virgen) se debe transferir el diseño del circuito impreso; por lo que, en primer lugar, se debe pulir la placa mediante una esponjilla de brillo. Luego, se debe alinear la placa con la imagen de la impresión y se debe ajustar, por medio de una cinta. Cuando el papel se encuentre fijo y totalmente estirado en la placa se empleará una plancha que calienta el diseño hasta adherirlo. En caso de existir fallas en la adherencia, se aconseja repasar las pistas defectuosas con un marcador permanente. El método de transferencia de tinta permite proteger únicamente las partes donde quedarán finalmente las pistas, los pads y cualquier otra superficie con cobre, ver siguiente figura.



*Figura 14: Placa con grabado en tinta.*

Tomado de: [http://construyasuvideorockola.com/imagenes/impresos/PCB\\_04.jpg](http://construyasuvideorockola.com/imagenes/impresos/PCB_04.jpg)

Así mismo, se debe eliminar el cobre que queda ubicada alrededor del grabado en tinta, por lo que se debe emplear un compuesto para retirar el exceso de cobre; el compuesto empleado más común es el cloruro férrico. De esta manera, se debe sumergir la placa con el diseño grabado en un recipiente con cloruro férrico y se debe agitar durante todo el proceso.



*Figura 15: Placa sumergida en cloruro férrico.*

Tomado de: [http://construyasuvideorockola.com/fabricacion\\_impresos\\_02.php](http://construyasuvideorockola.com/fabricacion_impresos_02.php)

Así, se eliminarán los excesos de cobre alrededor del grabado en tinta y se conseguirá el diseño deseado. Luego, se debe retirar la tinta con thinner o por medio de un limpión.

Por último, es necesario perforar los orificios donde se ubicarán los componentes de inserción (Ver Figura 16). Generalmente se emplea un motortool o un taladro pequeño con brocas de  $\frac{1}{16}$ ,  $\frac{1}{32}$  o con el diámetro deseado.



*Figura 16: Perforación con motortool.*

Tomado de: [http://construyasuvideorockola.com/fabricacion\\_impresos\\_02.php](http://construyasuvideorockola.com/fabricacion_impresos_02.php)

En el siguiente enlace se explica el proceso de fabricación de circuitos impresos mediante proceso de termotransferencia:

[https://www.youtube.com/watch?time\\_continue=42&v=6\\_305k5Cdrg](https://www.youtube.com/watch?time_continue=42&v=6_305k5Cdrg)

## 2.7. Diseño de objetos en 3D

El programa que se aconseja emplear en el diseño de la carcasa del proyecto es Fusion 360. En el siguiente enlace se explica cómo modelar objetos en 3D con Fusion 360:

<https://www.youtube.com/watch?v=Cnf9pL3Ozeg>

## 3. Especificaciones del proyecto

Se debe realizar el circuito mostrado en la Figura 17 para el desarrollo del proyecto. El dispositivo debe medir temperatura y humedad en el aire a través de un sensor DHT11, así como la iluminancia de un entorno mediante el módulo sensor de luz por fotoresistencia. Deben mostrarse dichos valores en dos displays 7 segmentos de 1 dígito cátodo común.

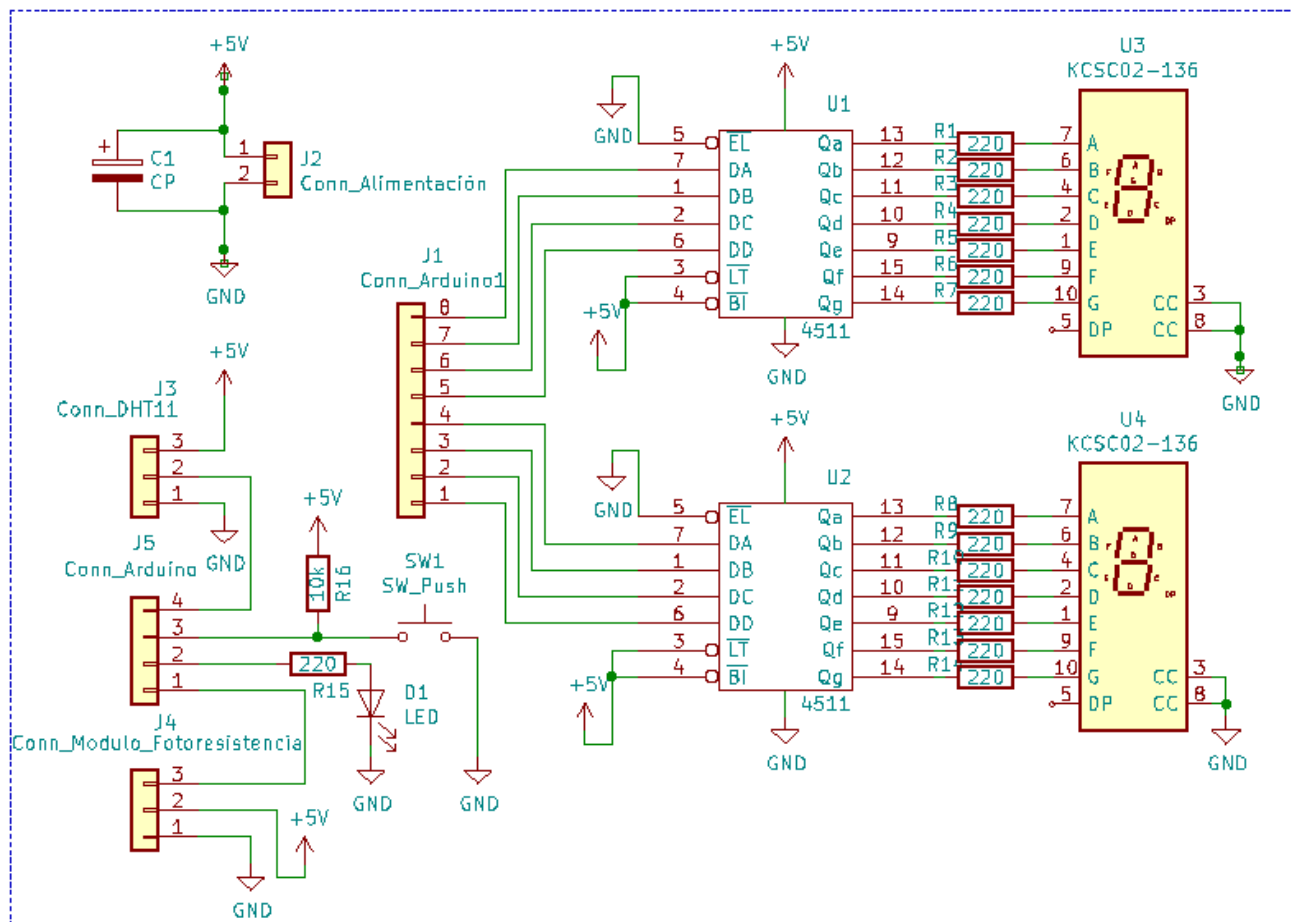


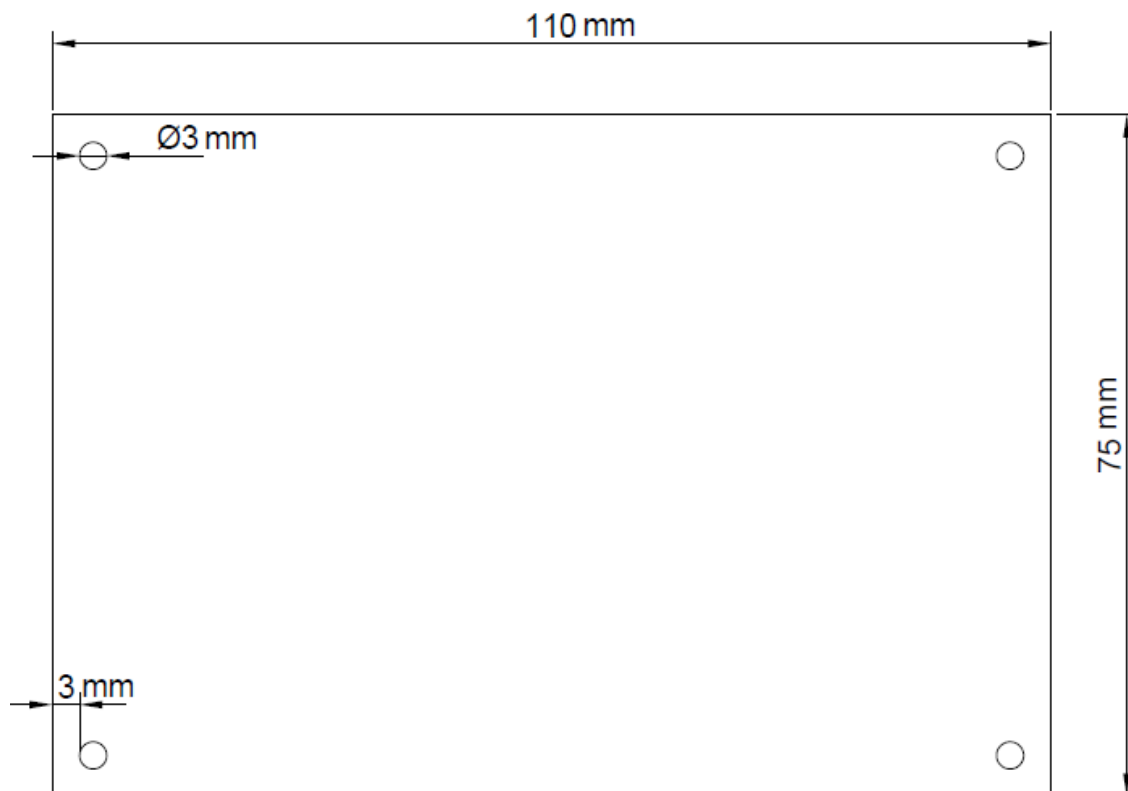
Figura 17: Diagrama esquemático del proyecto.

Es necesario el uso de dos integrados CD4511 para realizar la codificación BCD del arduino con los displays 7 segmentos. Así mismo, el pulsador SW1 debe controlar la medida que aparezca en los displays (temperatura, humedad relativa o iluminancia).

Debe realizarse el diseño del circuito impreso, así como la impresión mediante el método de fabricación por fresado (LPKF). El método de fabricación por fresado es un servicio que ofrece el Laboratorio de Prototipado de la Universidad Nacional. En este método debe emplearse una lámina FR4 de una cara de 12 cm x 8 cm. Con el fin de evitar cortos entre pistas debido al fresado de la PCB, se debe dejar un margen de 0.4 mm entre pistas en la configuración de diseño de KiCad.

De la misma manera, en el circuito impreso debe haber una marca en cobre con las iniciales de los nombres de los integrantes del grupo.

La placa del circuito impreso debe tener las dimensiones de la Figura 18; así mismo, debe poseer 4 orificios los cuales se muestran a continuación:



*Figura 18: Dimensiones de la placa del circuito impreso.*



El dispositivo debe contar con una carcasa en plástico la cual debe ser diseñada y modelada en 3D o 2D.

El dispositivo debe estar completamente terminado y listo para presentar.

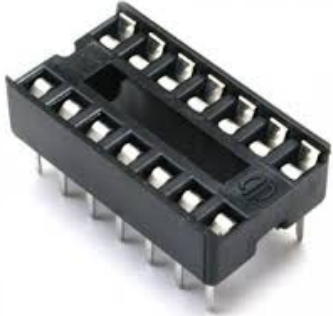

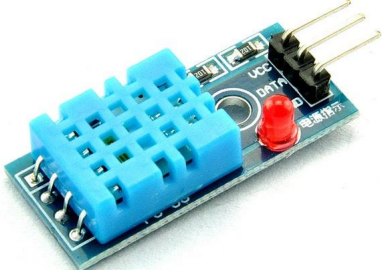
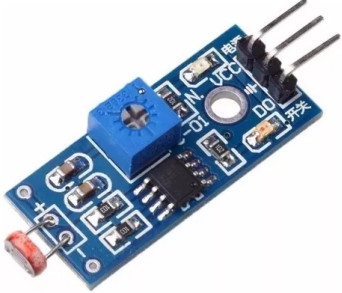
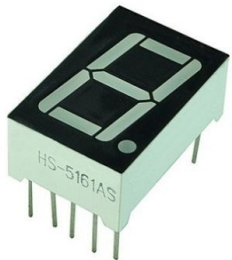


## 4. Producto final

### 4.1. Elementos necesarios para la práctica:

#	Ref.	Descripción	Cant.	Imagen-link
1	CD 4511	Decodificador CD4511	2	
2	220 $\Omega$	Resistencias 220 $\Omega$ $\frac{1}{4}$ W	15	
3	10 k $\Omega$	Resistencia 10 k $\Omega$ $\frac{1}{4}$ W	1	
4	10 $\mu$ F	Condensador electrolítico 25V o 16V	1	



5	Socket	Socket para integrado de 16 pines	2	
6	D1	Led	1	
7	LM35	Sensor DHT11	1	
8	Módulo Sensor Fotorresistencia	Módulo Sensor Fotorresistencia	1	
9	7 segmentos cátodo común	Display 7 segmentos 1 dígito cátodo común	2	

10	J1	Bornera con tornillos	1	
11	J2, J3	Regleta de pines	2	
12	Pulsador	Pulsador	1	
13	PCB	FR4 DE UNA CARA 1 ONZA (18um) O 2 ONZAS (35 um)	1	

## 4.2. Entregables:

### 4.2.1. Informe en formato IEEE tipo paper, máximo 5 páginas, el cual debe contener:

- Abstract.
- Introducción.
- Descripción del producto.
- Descripción del funcionamiento del producto.
- Especificaciones del producto.
- Procedimiento paso a paso del desarrollo del producto con evidencia fotográfica.
- Diagrama esquemático del dispositivo.
- Pantallazo del layout del circuito impreso agregando una marca en cobre en la capa bottom con las iniciales de los nombres de los integrantes del grupo.
- Diseño de la capa bottom.





- Diseño de la capa top.
- Diseño de la carcasa 3D o 2D del proyecto.
- Programa de arduino del dispositivo medidor de temperatura.
- Fotografías del producto final.
- Conclusiones.

#### **4.2.2. Producto final.**

- Producto final con carcasa incluida.

#### **4.2.3. Presentación del producto final mediante póster informativo.**

- 10 minutos de presentación donde se explique el procedimiento del desarrollo del producto junto con el funcionamiento final del producto.
- 5 minutos de preguntas.

#### **4.2.4. Rúbrica de evaluación.**

- De manera individual, se debe entregar completamente diligenciada la "Rúbrica de evaluación del trabajo en equipo", el día de entrega del proyecto.