



TRABAJO FIN DE GRADO

ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

ANÁLISIS, CARACTERIZACIÓN Y  
CALIBRACIÓN DE SENSORES DE BAJO  
COSTE PARA ARDUINO

GRADO EN INGENIERÍA ELECTRÓNICA INDUSTRIAL Y AUTOMÁTICA

UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

AUTOR:SAWAN SHADADPURI GOPLANI

TUTOR: SERGIO ELIAS HERNÁNDEZ ALONSO

Curso 2017/2018

Convocatoria de Septiembre

# Agradecimientos

*A mi tutor Sergio Helías Hernández, por ayudarme en todo lo posible y no desistir en la ardua tarea que puede implicar tutorizarme.*

*A mi madre y mi padre, por ser un apoyo constante y escucharme siempre que ha hecho falta.*

# Dedicatoria

*A mi sobrino Arian Dos Santos Shadadpuri, que aún recién nacido, tiene cara  
de entender todo lo que le digo.*

# Índice general

Índice	I
Índice de figuras	V
Índice de tablas	IX
<b>0. Objetivos y Estructura de la Memoria</b>	<b>XII</b>
0.1. Objetivos . . . . .	XII
0.2. Estructura de la memoria . . . . .	XII
<b>1. Introducción</b>	<b>1</b>
1.1. Sensores de bajo coste para Arduino . . . . .	1
1.2. Herramientas y Equipos utilizados en los montajes experimentales	1
1.2.1. Arduino . . . . .	1
1.2.2. MATLAB R2015a . . . . .	3
1.2.3. Mutímetro PROMAX PD-185 . . . . .	4
1.2.4. Luxómetro BENETECH GM010 . . . . .	6
1.2.5. Editor de circuitos electrónicos EasyEDA . . . . .	7
<b>2. Sensor de Temperatura KEYES KY-001</b>	<b>8</b>
2.1. Principio de funcionamiento . . . . .	9
2.2. Resumen de las principales características . . . . .	12
2.3. Método de Calibración en Dos Puntos (Two Point Calibration) para el Sensor de Temperatura KEYES KY-001 . . . . .	12
2.3.1. Medición en el punto triple del agua . . . . .	13
2.3.2. Medición en estado de ebullición del agua . . . . .	15
2.4. Resultados . . . . .	16

2.4.1.	Resultados para la medición en el triple punto del agua . . .	16
2.4.2.	Resultados para la medición en el punto de ebullición . . .	17
2.4.3.	Ajuste del valor de salida . . . . .	17
2.4.4.	Discusión de los resultados . . . . .	18
<b>3.</b>	<b>Sensor de Temperatura KEYES KY-013</b>	<b>19</b>
3.1.	Esquema eléctrico . . . . .	20
3.2.	Principio de funcionamiento . . . . .	20
3.3.	Resumen de las principales características . . . . .	21
3.4.	Método de Calibración mediante el ajuste la ecuación de SteinHart- Hart para el sensor de Temperatura KEYES KY-013 . . . . .	22
3.4.1.	caracterización del sensor de Temperatura KEYES KY-013	24
3.5.	Resultados . . . . .	25
3.5.1.	Obtención de los parámetros A, B y C de la ecuación de SteinHart-Hart para el sensor KEYES KY-013 . . . . .	25
3.5.2.	Discusión de los resultados . . . . .	29
<b>4.</b>	<b>Sensor de Temperatura KEYES KY-028</b>	<b>30</b>
4.1.	Principio de funcionamiento . . . . .	31
4.2.	Resumen de las principales características . . . . .	33
4.3.	Método de Calibración mediante el ajuste la ecuación de SteinHart- Hart para el sensor de Temperatura KEYES-KY028 . . . . .	33
4.4.	Resultados . . . . .	34
4.4.1.	Obtención de los parámetros A, B y C de la ecuación de SteinHart Hart para el sensor KEYES KY-028 . . . . .	34
4.4.2.	Discusión de los resultados . . . . .	35
<b>5.</b>	<b>Sensor Fotorresistor KEYES KY-018</b>	<b>37</b>
5.1.	Principio de funcionamiento . . . . .	38
5.2.	Resumen de las principales características . . . . .	39

5.3.	Método de Caracterización del sensor de luminiscencia KEYES KY-018 mediante el Luxómetro BENETECH GM010 . . . . .	39
5.4.	Resultados . . . . .	40
5.4.1.	Discusión de los resultados . . . . .	42
<b>6.</b>	<b>Sensor de Ultrasonidos HC-SR04</b>	<b>43</b>
6.1.	Principio de funcionamiento . . . . .	44
6.2.	Resumen de las principales características . . . . .	46
6.3.	Método de calibración del Sensor de Ultrasonidos HC-SR04 . . . . .	46
6.4.	Resultados . . . . .	48
6.4.1.	Recta de Calibración . . . . .	48
6.4.2.	Desviación Típica . . . . .	48
6.4.3.	Ajuste de la recta de calibración . . . . .	49
6.4.4.	Discusión de los resultados . . . . .	51
<b>7.</b>	<b>Sensor de Humedad KEYES KY-015</b>	<b>52</b>
7.1.	Principio de funcionamiento . . . . .	53
7.2.	Resumen de las principales características . . . . .	54
7.3.	Método de calibración para el Sensor de Humedad KEYES KY-015 con soluciones sal-agua como generadores de humedad . . . . .	55
7.4.	Resultados . . . . .	56
7.4.1.	Ensayo en solución de cloruro de magnesio . . . . .	56
7.4.2.	Ensayo en solución de cloruro de sodio . . . . .	57
7.4.3.	Ajuste de la ecuación de salida . . . . .	58
7.4.4.	Discusión de los resultados . . . . .	59
<b>8.</b>	<b>Sensor de Campo Magnético KEYES KY-035</b>	<b>60</b>
8.1.	Principio de funcionamiento . . . . .	61
8.1.1.	Efecto Hall . . . . .	62
8.2.	Resumen de las principales características . . . . .	63

8.3. Método de Caracterización del Sensor de Campo Magnético KE-YES KY-035 . . . . .	63
8.4. Resultados . . . . .	64
8.4.1. Ecuación Característica . . . . .	64
8.4.2. Nivel de OFFSET . . . . .	65
8.4.3. Fondos de escala . . . . .	66
8.4.4. Comprobación y prueba de ajustes . . . . .	67
8.4.5. Discusión de los resultados . . . . .	68
<b>9. Conclusiones/Conclusions</b>	<b>69</b>
9.1. Conclusiones . . . . .	69
9.2. Conclusions . . . . .	71
<b>Bibliografía</b>	<b>73</b>
<b>Anexos</b>	<b>78</b>
<b>A. Tablas de Datos complementarias</b>	<b>79</b>
A.1. Tabla de datos para el Sensor de Ultrasonidos HC-SR04 . . . . .	79
A.2. Tabla de datos recogidos para el Sensor Fotoresistor KEYES KY-018	87
<b>B. Códigos</b>	<b>88</b>
B.1. Código de MATLAB . . . . .	88
B.2. Códigos de ARDUINO . . . . .	91
B.2.1. Código de Arduino para el Sensor de Temperatura KEYES KY-001 . . . . .	91
B.2.2. Código de Arduino para el Sensor de Temperatura KY-013	93
B.2.3. Código de Arduino para el Sensor de Temperatura KEYES KY-028 . . . . .	94
B.2.4. Código de Arduino para el Sensor Fotoresistor KEYES KY-018 . . . . .	95

B.2.5. Código de Arduino para el Sensor de Ultrasonidos HC-SR04	96
B.2.6. Código de Arduino para el Sensor de Humedad KEYES KY-015 . . . . .	98
B.2.7. Código de Arduino para el Sensor de Humedad KEYES KY-035 . . . . .	100

**C. Hoja de especificaciones (Datasheet) de los sensores estudiados 102**

C.1. Datasheet del Sensor de Temperatura KEYES KY-001 (DS18B20)	103
C.2. Datasheet de los Termistores NTC utilizados en los Sensores de Temperatura KEYES KY-013 y KEYES KY-028 . . . . .	124
C.3. Datasheet del Sensor de Ultrasonidos HC-SR04 . . . . .	128
C.4. Datasheet de la del Sensor de Fotorresistor KEYES KY-018 (Foto- resistencia) . . . . .	132
C.5. Datasheet del sensor de Humedad KEYES KY-015 (DHT11) . . .	137
C.6. Datasheet del sensor de Campo Magnético KEYES KY-035 (SS49E)	146



# Índice de figuras

1.1.	ARDUINO UNO . . . . .	2
1.2.	MATLAB R2015a . . . . .	3
1.3.	Multímetro PROMAX PD-185 . . . . .	4
1.4.	Luxómetro digital BENETECH GM010 . . . . .	6
1.5.	Logo EasyEDA . . . . .	7
2.1.	Sensor de Temperatura KEYES KY-001 . . . . .	8
2.2.	Esquema eléctrico de la PCB del Sensor de Temperatura KEYES KY-001 . . . . .	9
2.3.	Diagrama de bloques del Sensor de temperatura DS18B20 . . . . .	9
2.4.	Configuración simple y en paralelo de transistores BJT . . . . .	10
2.5.	Esquema de circuito electrónico Brokaw Cell . . . . .	11
2.6.	Medición en el entorno del Triple Punto para calibración en dos puntos . . . . .	14
2.7.	Medición en el entorno de ebullición para el método de calibración en dos puntos . . . . .	15
2.8.	Gráfica para la medición de la temperatura en el entorno del triple punto para el agua . . . . .	16
2.9.	Gráfica para la medición de la temperatura en el entorno de ebullición del agua . . . . .	17
3.1.	Sensor de Temperatura KEYES KY-013 . . . . .	19
3.2.	Esquema eléctrico de la PCB del Sensor de Temperatura KEYES KY-013 . . . . .	20
3.3.	Configuración modificada del esquema eléctrico del Sensor de Temperatura KEYES KY-013 . . . . .	21
3.4.	Aislamiento del Sensor de Temperatura KEYES KY013 . . . . .	23

3.5.	Calculadora online [21] de los parámetros A, B y C de la ecuación de Steinhart-Hart para el Sensor de Temperatura KEYES KY-013 . . . . .	26
3.6.	Voltaje de salida frente a Temperatura para el Sensor de Temperatura KEYES KY-013 . . . . .	27
3.7.	Potencia disipada por la resistencia $R_{NTC}$ del Sensor de Temperatura KEYES KY-013 . . . . .	28
3.8.	Prueba simultánea de los Sensores de Temperatura KEYES KY-001 y KEYES KY-013 . . . . .	28
4.1.	Sensor de Temperatura KEYES KY-028 . . . . .	30
4.2.	Esquema eléctrico de la PCB del Sensor de Temperatura KEYES KY-028 . . . . .	31
4.3.	Calculadora online de los parámetros A, B y C de la ecuación de Steinhart-Hart para el Sensor de Temperatura KEYES KY-028 [21] . . . . .	35
5.1.	Sensor Fotoresistor KEYES KY-018 . . . . .	37
5.2.	Esquema eléctrico de la PCB del Sensor Fotorresistor KEYES KY-018 . . . . .	38
5.3.	Configuración modificada del esquema eléctrico del Sensor Fotoresistor KEYES KY-018 . . . . .	38
5.4.	Disposición conjunta de Sensor Fotoresistor KEYES KY-018 y Luxómetro BENETECH GM010 . . . . .	40
5.5.	Luxes frente a voltaje del divisor de tensión para el Sensor Fotoresistor KEYES KY-018 . . . . .	41
5.6.	Herramienta de ajuste de curvas (Curve Fitting Tool) de MATLAB para la obtención de la ecuación característica del sensor KEYES KY-018 . . . . .	42
6.1.	Sensor de Ultrasonidos HC-SR04 . . . . .	43
6.2.	Esquema eléctrico de la PCB del Sensor de Ultrasonidos HC-SR04 . . . . .	44

6.3.	Principio de funcionamiento del Sensor de Ultrasonidos HC-SR04	45
6.4.	Entorno de calibración del Sensor de Ultrasonidos HC-SR04 . .	47
6.5.	Recta de calibración para el Sensor de Ultrasonidos HC-SR04 .	48
6.6.	Desviación Típica para el conjunto de muestras tomadas con el Sensor de Ultrasonidos HC-SR04 . . . . .	49
6.7.	Recta que relaciona la Medida Real (cm) con la obtenida por el sensor de Ultrasonidos HC-SR04 . . . . .	50
6.8.	Recta que relaciona la Medida Real (cm) con la obtenida por el sensor de Ultrasonidos HC-SR04 . . . . .	50
7.1.	Sensor de Humedad y Temperatura KEYES KY-015 . . . . .	52
7.2.	Esquema eléctrico de la PCB del Sensor de Humedad y Tempe- ratura KEYES KY-015 . . . . .	53
7.3.	Módulo DHT11 del Sensor de Humedad y Temperatura KEYES KY-015 . . . . .	53
7.4.	Interior del Módulo DHT11 perteneciente al Sensor de Humedad y Temperatura KEYES KY-015 . . . . .	54
7.5.	Entorno de calibración para dos puntos del Sensor de Humedad KEYES KY-15 . . . . .	56
7.6.	Gráfica del nivel de Humedad Relativa presente en el entorno de cloruro de magnesio . . . . .	57
7.7.	Gráfica del nivel de Humedad Relativa presente en el entorno de cloruro de sodio . . . . .	57
7.8.	Gráfica del nivel de humedad relativa (%) teórico frente al re- cogido por el Sensor de Humedad KEYES KY-015 . . . . .	58
7.9.	Herramienta Curve Fitting Tool de MATLAB para la obtención de la ecuación de la recta de calibración del sensor KEYES KY-015	59
8.1.	Sensor de Campo Magnético KEYES KY-035 . . . . .	60
8.2.	Esquema eléctrico de la PCB del Sensor de Campo Magnético KEYES KY-035 . . . . .	61

8.3.	Efecto Hall sobre un conductor . . . . .	62
8.4.	Entorno de caracterización del Sensor de Campo Magnético KE-YES KY-035 . . . . .	64
8.5.	Herramienta (Curve Fitting Tool) de MATLAB para la generación de ecuaciones características . . . . .	65
8.6.	Recta teórica de calibración del Sensor de Campo Magnético KEYES KY-035 con OFFSET real . . . . .	66
8.7.	Recta de calibración real del Sensor de Campo Magnético KE-YES KY-035 . . . . .	67
8.8.	Prueba del Sensor de Campo Magnético KEYES KY-035 . . . . .	67

# Índice de tablas

1.1.	Principales características del Arduino UNO . . . . .	3
1.2.	Principales especificaciones del multímetro PROMAX PD-185 . . . . .	5
2.1.	Componentes y patillaje del Sensor de Temperatura KEYES KY-001 . . . . .	8
2.2.	Principales características del Sensor de Temperatura KEYES KY-001 . . . . .	12
3.1.	Componentes y patillaje del Sensor de Temperatura KEYES KY-013 . . . . .	19
3.2.	Principales características del Sensor de Temperatura KEYES KY-013 . . . . .	21
4.1.	Componentes y patillaje del Sensor de Temperatura KEYES KY-028 . . . . .	30
4.2.	Principales características del Sensor de Temperatura KEYES KY-028 . . . . .	33
5.1.	Componentes y patillaje del Sensor Fotorresistor KEYES KY-018 . . . . .	37
5.2.	Principales características del Sensor Fotorresistor KEYES KY-018 . . . . .	39
6.1.	Patillaje del Sensor de Ultrasonidos HC-SR04 . . . . .	43
6.2.	Principales características del Sensor de Ultrasonidos HC-SR04 . . . . .	46
7.1.	Componentes y patillaje del Sensor de Humedad y Temperatura KEYES KY-015 . . . . .	52
7.2.	Principales Características del Sensor de Humedad KEYES KY-015 . . . . .	54
7.3.	Posibles soluciones de sal-agua para calibración de higrómetros . . . . .	55

8.1.	Componentes y patillaje del Sensor de Campo Magnético KEYES KY-035 . . . . .	60
8.2.	Principales características del Sensor de Campo Magnético KE- YES KY-035 . . . . .	63
9.1.	Resumen de los principales procedimientos realizados con cada sensor . . . . .	70
9.2.	Resume of the principal tasks developed with each sensor . . . .	71
A.1.	Tabla con los datos recogidos para el Sensor de Ultrasonidos HC- SR04 . . . . .	87
A.2.	Tabla de datos obtenidos para el Sensor Fotorresistor KEYES KY-018 . . . . .	87

# 0. Objetivos y Estructura de la Memoria

## 0.1. Objetivos

En el presente Trabajo Fin de Grado se han tratado de alcanzar los siguientes objetivos:

- Análisis de las principales especificaciones técnicas de varios sensores.
- Búsqueda y adaptación de los códigos de programación para Arduino.
- Dibujo de esquemas eléctricos.
- Calibración/caracterización de los diferentes sensores.
- Desarrollo de diferentes tareas de programación y procesamiento de datos en el software MATLAB.

## 0.2. Estructura de la memoria

La memoria se ha estructurado de la siguiente manera:

- En primer lugar encontramos un capítulo de introducción, en el cual se pone en situación al lector sobre el entorno que rodea al trabajo en cuestión. También se da una descripción de las herramientas utilizadas.
- Tras el capítulo de introducción encontramos un capítulo para cada sensor (un total de 7 sensores). Estos capítulos siguen en líneas generales la siguiente estructura de 7 puntos:
  1. Pequeña descripción del sensor y sus principales características.
  2. Imagen del sensor, acompañada de una tabla con los principales componentes.

3. Esquema eléctrico que presenta la placa PCB del sensor.
  4. Principio físico de funcionamiento.
  5. Tabla resumen de las principales especificaciones aportadas por el fabricante.
  6. Metodologías utilizadas para el análisis, caracterización y calibración del sensor.
  7. Resultados de las pruebas y ensayos realizados.
- Una vez analizados todos los sensores, encontramos el capítulo de las conclusiones, donde se tendrá una visión más global de las tareas desarrolladas.
  - Por último encontramos los anexos, que están divididos en 3 apartados principales:
    - Anexo A (Tablas de datos complementarias): En este apartado encontramos las tablas de los datos recogidos para el Sensor de Ultrasonidos HC-SR04 y para el Sensor Fotorresistor KEYES KY-018.
    - Anexo B (Códigos): En primer lugar se tiene el código desarrollado en el entorno de MATLAB, para la recogida de datos por puerto serie. En segundo lugar encontramos el código de Arduino para cada sensor.
    - Anexo C (Hojas de especificaciones): En este apartado se han dispuesto todas las hojas de especificaciones de los sensores estudiados.



# 1. Introducción

## 1.1. Sensores de bajo coste para Arduino

La plataforma de software libre Arduino es conocida por ser una de las empresas líderes en creación de placas con micro-controladores de bajo coste. Su incursión en el mercado fue una revolución, pues su precio (entre 10€y 30€) era mucho menor que el de los presentes en ese momento (en muchos casos superior a 100€). Asociado al crecimiento y aumento del uso de estos dispositivos, aparecen en el mercado diversos sensores de bajo coste con múltiples aplicaciones para satisfacer la demanda emergente.

Concretamente, los sensores analizados en esta memoria pertenecen en su mayoría a un KIT de 37 elementos (entre sensores y actuadores) adquirido por Internet a un precio de 12€. ([1]).

Estos sensores, al ser de bajo coste, no cuentan con unas especificaciones técnicas con suficiente amplitud de detalles y carecen en muchos casos, de estudios de calibración o caracterización que puedan garantizar su correcto funcionamiento.

Así, tras observar esta situación, surge la propuesta de TFG con el objetivo de analizar, caracterizar y calibrar varios de estos sensores probados en la plataforma Arduino.

## 1.2. Herramientas y Equipos utilizados en los montajes experimentales

### 1.2.1. Arduino

Arduino fue inventado en el año 2005 por el entonces estudiante del instituto IVRAE Massimo Banzi, quien, en un principio, pensaba en hacer ARDUINO por una necesidad de aprendizaje para los estudiantes de computación y electrónica del mismo instituto, ya que en ese entonces, adquirir una placa de micro controladores eran bastante caro y no ofrecían el soporte adecuado; no obstante, nunca

se imaginó que esta herramienta se llegaría a convertir en años más adelante en el líder mundial de tecnologías DIY (Do It Yourself).

En este trabajo se ha utilizado la placa Arduino UNO (figura 1.1).

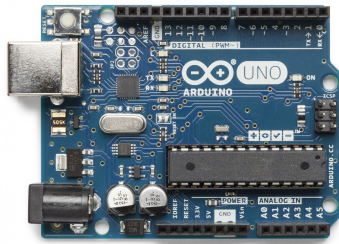


Figura 1.1: ARDUINO UNO

#### 1.2.1.1. Arduino UNO

A continuación se deja una breve descripción:

Placa con un microcontrolador de la marca Atmel ([2]) y con toda la circuitería de soporte, que incluye, reguladores de tensión, un puerto USB (En los últimos modelos, aunque el original utilizaba un puerto serie) conectado a un módulo adaptador USB-Serie que permite programar el microcontrolador desde cualquier PC de manera cómoda y también hacer pruebas de comunicación con el propio chip.

El Arduino UNO (ver tabla 1.1) dispone de 14 pines que pueden configurarse como entrada o salida digital, y a los que puede conectarse cualquier dispositivo que sea capaz de transmitir o recibir señales de 0 y 5 V. También dispone de 6 entradas y salidas analógicas. Mediante las entradas analógicas podemos obtener datos de sensores en forma de variaciones continuas de un voltaje. Para trabajar con señales dichas analógicas, cuenta con un CAD (Convertidor Analógico/Digital) de 10 Bits

Tabla 1.1: Principales características del Arduino UNO

<b>MICROCONTROLADOR</b>	ATMEGA328
<b>VOLTAJE DE OPERACIÓN</b>	5V
<b>VOLTAJE DE ENTRADA RECOMENDADO</b>	7V A 12V
<b>VOLTAJE DE ENTRADA LÍMITE</b>	6V A 20V
<b>PINES PARA ENTRADA/SALIDA DIGITAL</b>	14 (6 POSIBLE COMO PWM)
<b>PINES DE ENTRADA ANALÓGICA</b>	6
<b>CORRIENTE CONTINUA POR PIN I/O</b>	40mA
<b>CORRIENTE CONTINUA EN EL PIN 3.3V</b>	50mA
<b>MEMORIA FLASH</b>	32KB (0.5 KB para el Bootloader)
<b>SRAM</b>	2KB
<b>EEPROM</b>	1KB
<b>FRECUENCIA DE RELOJ</b>	16MHz

### 1.2.2. MATLAB R2015a

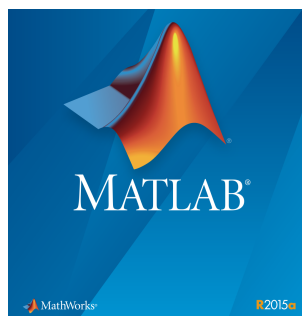


Figura 1.2: MATLAB R2015a

MATLAB (abreviatura de MATrix LABoratory (laboratorio de matrices) es una herramienta de software matemático que ofrece un entorno de desarrollo inte-

grado (IDE Integrated Development Environment ) con un lenguaje de programación propio (lenguaje M). Está disponible para las plataformas Unix, Windows, Mac OS X y GNU/Linux ([3]).

Entre sus prestaciones básicas se hallan: la manipulación de matrices, la representación de datos y funciones, la implementación de algoritmos, la creación de interfaces de usuario (GUI) y la comunicación con programas en otros lenguajes y con otros dispositivos hardware. El paquete MATLAB dispone de dos herramientas adicionales que expanden sus prestaciones, a saber, Simulink (plataforma de simulación multidominio) y GUIDE (editor de interfaces de usuario - GUI). Además, se pueden ampliar las capacidades de MATLAB con las cajas de herramientas (toolboxes); y las de Simulink con los paquetes de bloques (blocksets).

Es un software muy usado en universidades y centros de investigación y desarrollo. En los últimos años ha aumentado el número de prestaciones, como la de programar directamente procesadores digitales de señal o crear código VHDL.

Para este proyecto, los principales usos que se le dará a esta herramienta son:

- Creación de un código para la recogida de datos por puerto serie proveniente de la placa Arduino UNO. Dicho código es genérico y se utiliza para todos los sensores, aunque se ha de modificar según el número de variables que se quiera leer (anexo B.1).
- Generación de gráficas a partir de los datos almacenados
- Uso de las herramientas de ajuste de curvas (Curve Fitting Tool)

### 1.2.3. Mutímetro PROMAX PD-185



Figura 1.3: Mutímetro PROMAX PD-185

El multímetro digital PD-185 [4] reúne las características básicas de un instrumento profesional, tales como alta precisión, fiabilidad y una amplia escala de medidas. El sistema de visualización con una pantalla LCD de gran tamaño, así como fácil manejo, permite su uso tanto en laboratorios como en cadenas de producción. Su fiabilidad de uso también los hace muy indicados para actividades educativas (especificaciones en tabla 1.2).

Tabla 1.2: Principales especificaciones del multímetro PROMAX PD-185

<b>VISUALIZACIÓN</b>	3 <sup>3/4</sup> dígitos (4000 cuentas)
<b>RESOLUCIÓN <math>V_{DC}</math></b> <b>ESCALA(MIN/MAX)</b> <b>400mV/1000V</b>	100 $\mu$ V/1V
<b>PRECISIÓN <math>V_{DC}</math></b> <b>ESCALA 400mV/1000V</b>	$\pm(0,1\% \text{ lect} + 2 \text{ díg})$
<b>RESOLUCIÓN <math>V_{AC}</math></b> <b>ESCALA(MIN/MAX)</b> <b>400mV/750V</b>	100 $\mu$ V/1V
<b>PRECISIÓN <math>V_{AC}</math></b> <b>ESCALA 400mV/750V</b>	$\pm(1,2\% \text{ lect} + 5 \text{ díg})$
<b>RESOLUCIÓN <math>I_{DC}</math></b> <b>ESCALA(MIN/MAX)</b> <b>400<math>\mu</math>A/20A</b>	0,1 $\mu$ A/10mA
<b>PRECISIÓN <math>I_{DC}</math></b> <b>ESCALA 400<math>\mu</math>A/20A</b>	$\pm(1,0\% \text{ lect} + 1 \text{ díg})/$ $\pm(2,0\% \text{ lect} + 3 \text{ díg})$
<b>RESOLUCIÓN <math>I_{AC}</math></b> <b>ESCALA(MIN/MAX)</b> <b>400<math>\mu</math>A/20A</b>	0,1 $\mu$ A/10mA
<b>PRECISIÓN <math>I_{AC}</math></b> <b>ESCALA 400<math>\mu</math>A/20A</b>	$\pm(1,5\% \text{ lect} + 4 \text{ díg})/$ $\pm(2,5\% \text{ lect} + 4 \text{ díg})$
<b>RESOLUCIÓN RESISTENCIA</b> <b>ESCALA(MIN/MAX)</b> <b>400<math>\Omega</math>/40M<math>\Omega</math></b>	0.1 $\Omega$ /10K $\Omega$
<b>PRECISIÓN RESISTENCIA</b> <b>ESCALA 400<math>\Omega</math>/40M<math>\Omega</math></b>	$\pm(0,5\% \text{ lect} + 4 \text{ díg})/$ $\pm(1,5\% \text{ lect} + 4 \text{ díg})$

La precisión en la tabla 1.2 se expresa como  $\pm$  ([% de lectura] + [número del dígito menos significativos]).

Principales usos del multímetro en este proyecto:

- Análisis y obtención de los circuitos presentes en las PCB de los sensores.
- Comprobación de las tensiones de entrada y salida de los sensores.
- Medición y obtención de datos de los diferentes elementos montados en las PCB.

#### 1.2.4. Luxómetro BENETECH GM010



Figura 1.4: Luxómetro digital BENETECH GM010

Luxómetro comercial de la marca BENETECH modelo GM010 ([5]) que cuenta con las siguientes características:

- Rango de medición de 0 a 200000 lux
- Actualización de pantalla digital cada 2 segundos
- Temperatura de funcionamiento de 0<sup>o</sup>c a 40<sup>o</sup>C

El principal uso que se le ha dado a este Luxómetro durante este trabajo, ha sido como sensor de referencia (patrón) en la caracterización del sensor fotoresistor KEYES KY-018.

### 1.2.5. Editor de circuitos electrónicos EasyEDA



Figura 1.5: Logo EasyEDA

EasyEDA [6] es una herramienta de diseño de esquemas eléctricos asistida por ordenador. No requiere de instalación pues se ejecuta desde el navegador web. Permite además realizar simulaciones con circuitos analógicos o digitales. Una gran ventaja de este software es que permite la exportación de los esquemas creados a múltiples formatos (.pdf, .png, etc). El principal uso que se le ha dado a esta herramienta es para generar los esquemas eléctricos de los diferentes sensores estudiados en esta memoria.

## 2. Sensor de Temperatura KEYES KY-001

El sensor KEYES KY-001 es capaz de medir la temperatura del entorno que lo rodea, y generar un dato digital mediante el protocolo OneWire[7] conteniendo dicho valor. Basa su funcionamiento en el sensor DS18B20 (elemento número 1 de la figura 2.1) [8] [9]. El rango de temperaturas medibles por el sensor es de  $-10^{\circ}\text{C}$  a  $80^{\circ}\text{C}$ , con una precisión de al menos  $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ . La resolución del valor de salida del sensor es ajustable entre 9 y 12 bits (0.5V a 0.0625V), teniendo en cuenta que a mayor resolución, mayor será el tiempo de respuesta del dispositivo (93.75ms a 750ms). Para más información (anexo C.1 y tabla 2.2).

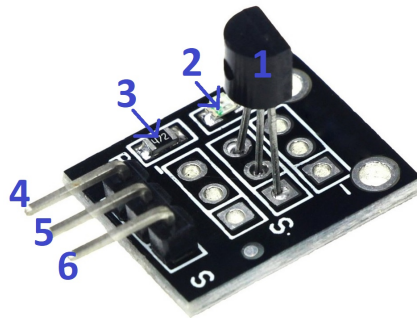


Figura 2.1: Sensor de Temperatura KEYES KY-001

Tabla 2.1: Componentes y patillaje del Sensor de Temperatura KEYES KY-001

NÚMERO DE IDENTIFICACIÓN	DESCRIPCIÓN DEL ELEMENTO
1	Sensor de Temperatura DS18B20 con un encapsulado tipo TO92
2	Resistencia de $1K\Omega$
3	Diodo Led
4	Patilla " - " $\Rightarrow$ Tierra (GND)
5	Patilla central $\Rightarrow$ Alimentación ( $V_{CC}$ )
6	Patilla " S " $\Rightarrow$ Cable de Datos (BUS OneWire)

Esquema eléctrico del sensor realizado mediante la ayuda del multímetro Pro-



max PD-185 y la herramienta de diseño de circuitos en línea EasyEda [6]:

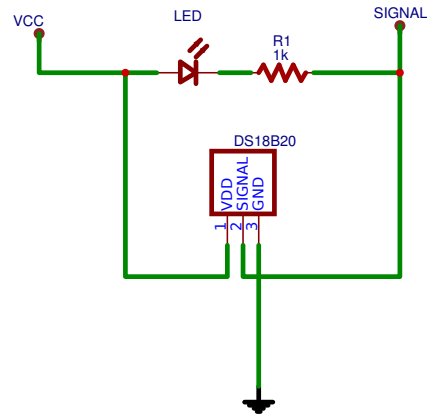


Figura 2.2: Esquema eléctrico de la PCB del Sensor de Temperatura KEYES KY-001

## 2.1. Principio de funcionamiento

El Sensor KEYES KY-001 basa la medición de la temperatura en el encapsulado sensor DS18B20. A continuación se muestra un diagrama interno de funcionamiento del DS18B20:

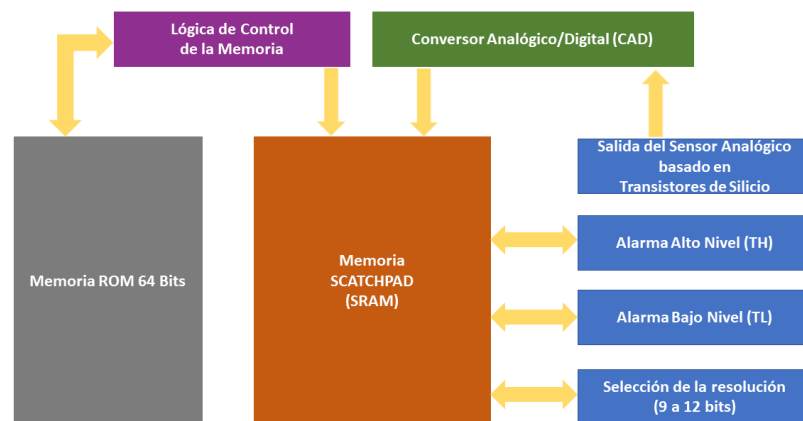


Figura 2.3: Diagrama de bloques del Sensor de temperatura DS18B20

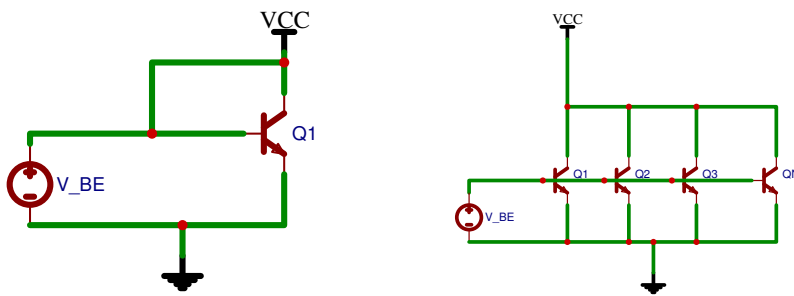
Como se puede observar, el DS18B20 contiene en su interior un sensor analógi-

co para la medición de temperatura. Este está basado en la relación térmica que guardan los transistores de silicio tipo BJT. Utiliza la relación térmica existente entre la unión base-emisor ( $V_{BE}$ ) y la corriente que circula por el colector ( $I_C$ ) para transistores de silicio tipo BJT (Ecuación 2.1).

$$V_{BE} = \left(\frac{K \cdot T}{q}\right) \cdot \left[\ln\left(\frac{I_C}{I_S}\right)\right] \quad (2.1)$$

Donde:

- $K$  = Constante de Boltzmann =  $1,3806503 \cdot 10^{-23} \cdot m^2 \cdot Kg \cdot S^{-1} \cdot K^{-1}$
- $q$  = carga de un electrón =  $1,60217646 \cdot 10^{-19}$  Culombios.
- $T$  = temperatura en grados Kelvin.
- $I_C$  = Corriente que circula por el colector.
- $I_S$  = Corriente que depende de la geometría del transistor y de la temperatura.



(a) Circuito con un solo transistor  
(Ecuación:2.1)

(b) Circuito con n transistores  
(Ecuación:2.2)

Figura 2.4: Configuración simple y en paralelo de transistores BJT

Tiene el inconveniente de que  $I_S$  presenta una gran no linealidad frente a la temperatura. Por ello, para obtener un resultado con la suficiente fidelidad, los circuitos se suelen crear con un diseño tipo PTAT (Proportional To Absolute Temperature). Esto consiste, de forma simplificada, en hallar la  $\Delta V_{BE}$  entre un

transistor BJT ( $Q_1$ ) y varios transistores BJT dispuestos en paralelo ( $Q_n$ ) (Ver figura 2.4). Con esto se consigue obtener un voltaje proporcional a la temperatura, independiente de los valores de  $I_S$  e  $I_C$ .

$$V_N = \left(\frac{K \cdot T}{q}\right) \cdot \left[\ln\left(\frac{I_C}{n \cdot I_S}\right)\right] \quad (2.2)$$

Hallando la variación:

$$\Delta V_{BE} = V_{BE} - V_N = T \cdot \frac{K \cdot \ln(n)}{q} \quad (2.3)$$

En la práctica, el circuito utilizado que implementa lo visto anteriormente, es el denominado “Brokaw Cell” (figura 2.5).

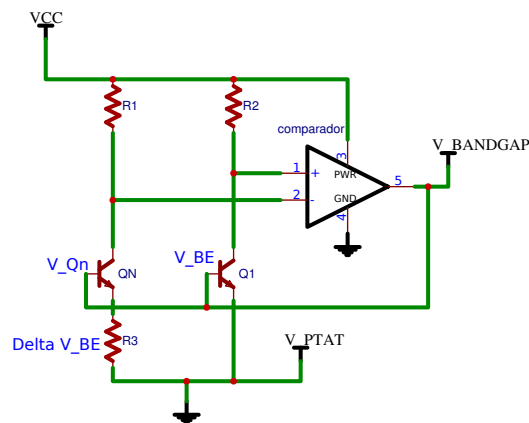


Figura 2.5: Esquema de circuito electrónico Brokaw Cell

Gracias a este circuito podemos obtener dos posibles salidas de voltaje:

$$V_{PTAT} = T \cdot \frac{K \cdot \ln(n)}{q} \cdot \frac{2 \cdot R_1}{R_2} \quad (2.4)$$

$$V_{BANDGAP} = V_{PTAT} + V_{BEQ1} \quad (2.5)$$

Con  $V_{PTAT}$  ya tenemos un voltaje proporcional a la temperatura y con un comportamiento lineal. La otra salida es  $V_{BANDGAP}$  con la que obtenemos un voltaje fijo, independiente de fluctuaciones en la temperatura, ya que  $V_{BEQ1}$  es complementario a  $V_{PTAT}$ .

## 2.2. Resumen de las principales características

Tabla 2.2: Principales características del Sensor de Temperatura KEYES KY-001

SALIDA	DIGITAL
PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO	RELACIÓN TÉRMICA ENTRE TRANSISTORES BIPOLARES TIPO BJT
RESOLUCIÓN PROGRAMABLE	VARIABLE 0.5V a 0.0625V
RANGO DE TEMPERATURAS MEDIBLE	-40°C a 120°C
PRECISIÓN EN EL RANGO -10°C a 80°C	$\pm 0.5^{\circ}\text{C}$
PRECISIÓN EN EL RESTO DEL RANGO	$\pm 1^{\circ}\text{C}$
ENCAPSULADO	TIPO TO-92
COMUNICACIÓN CON ARDUINO	PROTOCOLO ONE WIRE

## 2.3. Método de Calibración en Dos Puntos (Two Point Calibration) para el Sensor de Temperatura KEYES KY-001

En este ensayo se procede a calibrar el Sensor de Temperatura KEYES KY-001 por el método de calibración en dos puntos [10][11][12][13]. Este método es suficiente para afinar los sensores, asumiendo que no tienen ningún tipo de defecto de fábrica. Se basa en el conocimiento de la magnitud a medir para dos estados distintos.

Procedemos a realizar el ensayo de calibración usando como elemento conocido el agua en su punto de ebullición, y el punto triple del mismo (momento en el cual coexisten en equilibrio el estado sólido, líquido y gaseoso [14]). Para ambas pruebas se utilizará agua destilada. El proceso consiste en lo siguiente:

- Primero debemos fijar nuestros valores de referencia. Para el triple punto del agua, la temperatura ideal que se debe observar es de  $0.01^{\circ}\text{C}$ .

La temperatura de ebullición del agua depende de la presión atmosférica y por lo tanto de la altura con respecto al nivel del mar de donde nos

encontremos. La zona donde yo realizaré estas pruebas (Playa Blanca, Lanzarote, Islas Canarias) se sitúa a 31m por encima del nivel de mar ([15]) con una presión atmosférica aproximada de 1016.1Hpa ([16]) y por lo tanto la temperatura teórica de ebullición es de 99.9°C.

Nos referiremos a estos valores como:

- $T_{RefBaja} \Rightarrow (0.01^{\circ}\text{C})$ .
  - $T_{RefAlta} \Rightarrow (99.9^{\circ}\text{C})$ .
- El siguiente paso consiste en medir con nuestro sensor, los valores de temperatura presentes en ambos procesos. Llamaremos a estos:
- $T_{MedBaja} \Rightarrow$  Para la medición en el triple punto.
  - $T_{MedAlta} \Rightarrow$  Para la medición en el momento de ebullición.
- Una vez tenemos los valores de referencia y los valores medidos, podemos ajustar el sensor para nuevas mediciones de temperatura. Por lo tanto tenemos que añadir dos valores más:
- $T_{MEDIDA} \Rightarrow$  Valor recogido por el sensor en una medición dentro de su rango de acción.
  - $T_{CORREGIDA} \Rightarrow$  Valor corregido mediante la ecuación 2.6.

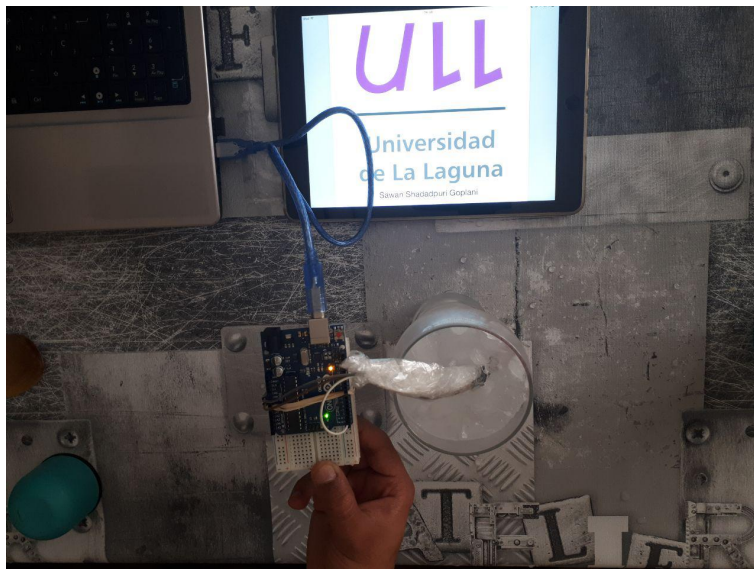
$$T_{CORREGIDA} = \left[ \frac{(T_{MEDIDA} - T_{MedBaja}) \cdot (T_{RefAlta} - T_{RefBaja})}{T_{MedAlta} - T_{MedBaja}} \right] + T_{RefBaja} \quad (2.6)$$

### 2.3.1. Medición en el punto triple del agua

Para obtener este equilibrio, se recomienda coger un recipiente y llenarlo de cubitos de hielo picado hasta arriba. Luego, se vierte agua fría hasta completar el 80 % del mismo. Tras esto, volvemos a colocar algunos cubitos de hielo encima (ver referencia [14]). Es muy importante que durante todo el proceso de medición, siempre haya hielo en la parte inferior del recipiente, evitando que se descongele (figura 2.6a).

En mi caso, el sensor de temperatura con el que cuento, no está preparado para ser sumergido directamente en líquidos. Por eso, previamente he preparado un revestimiento estanco utilizando un tubo termo-retráctil (figura 2.6b). Este es bastante robusto y una vez calentado y luego enfriado queda bien pegado al sensor. La disipación térmica debido a dicho aislamiento es mínima y despreciable.

Una vez tenemos preparado ambos elementos, procedemos a realizar las mediciones:



(a) Medición de la temperatura en hielo fundente



(b) DS18B20 con aislamiento

Figura 2.6: Medición en el entorno del Triple Punto para calibración en dos puntos

### 2.3.2. Medición en estado de ebullición del agua

Al igual que en experimento anterior, la medición se ha de realizar dentro de un líquido (agua destilada) y por lo tanto conservaremos el tubo termo-retráctil utilizado como aislante estanco. Antes de realizar cualquier medición, se ha dejado que el sensor vuelva a temperatura ambiente.

Se ha colocado un recipiente con agua destilada a hervir. Una vez adquirido el punto de ebullición, se introduce el sensor y se mantiene de esta manera el tiempo necesario hasta que la medida es estable (figuras 2.7a y 2.7)[16].



(a) Preparación del entorno de trabajo (recipiente con agua hirviendo)



(b) Introducción del sensor en el entorno de ebullición

Figura 2.7: Medición en el entorno de ebullición para el método de calibración en dos puntos

## 2.4. Resultados

### 2.4.1. Resultados para la medición en el triple punto del agua

Se recogen todos los datos mediante el software MATLAB, y con una sencilla función, se genera una gráfica con la que poder seguir este procedimiento de una forma más visual:

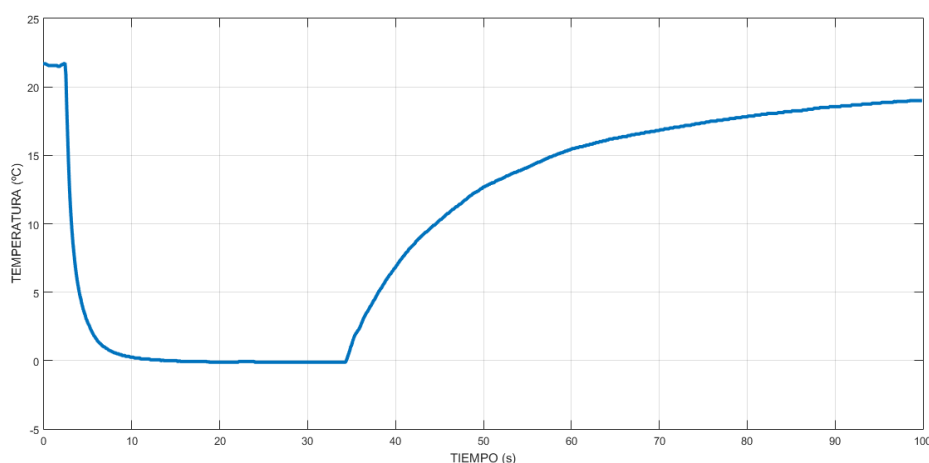


Figura 2.8: Gráfica para la medición de la temperatura en el entorno del triple punto para el agua

Vemos que tras enfriarse dentro del entorno, alcanza un valor muy próximo a cero. Como criterio para seleccionar un valor, se ha decidido realizar la moda estadística (valor más repetido dentro de un conjunto de valores) desde el primer valor recogido tras descender de  $0.5^{\circ}\text{C}$  hasta el primer valor superior a  $0.5^{\circ}\text{C}$  tras comenzar su recuperación a temperatura ambiente (retirada del sensor).

El resultado obtenido ha sido:  $T_{MedBaja} = -0.012^{\circ}\text{C}$



### 2.4.2. Resultados para la medición en el punto de ebullición

Recogemos los datos en MATLAB y procedemos a realizar una gráfica:

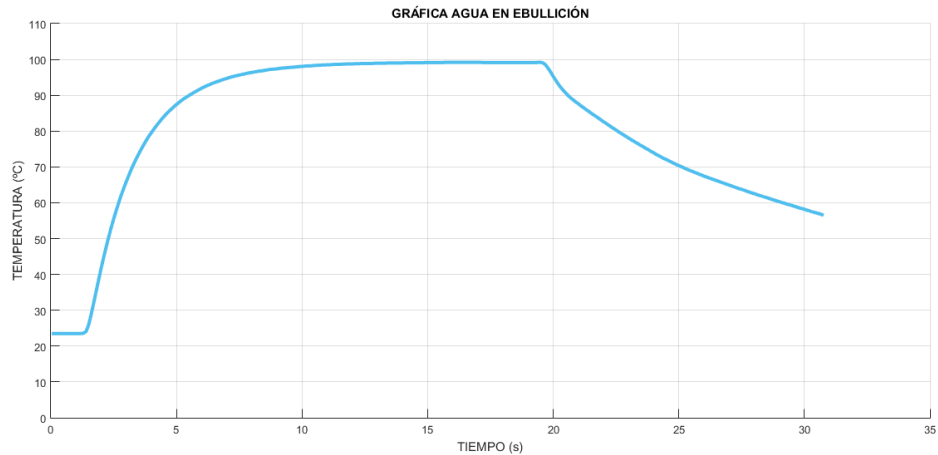


Figura 2.9: Gráfica para la medición de la temperatura en el entorno de ebullición del agua

Como valor representativo de la medida, se elige el más repetido (moda estadística) desde que el sensor alcanza 99°C y sube, hasta que vuelve a alcanzar el mismo valor (99°C) cuando empieza a enfriarse (retirada del sensor a temperatura ambiente).

El resultado obtenido ha sido:  $T_{MedAlta} = 99.12^{\circ}\text{C}$

### 2.4.3. Ajuste del valor de salida

Tras haber realizado estas pruebas, se han obtenido todos los datos necesarios para ajustar la salida del sensor. Ahora simplemente se debe introducir la ecuación 2.6 en el código de ARDUINO para obtener el valor calibrado:

$$T_{CORREGIDA} = \left[ \frac{(T_{MEDIDA} - (-0,012)) \cdot (99,9 - 0,01)}{99,12 - (-0,012)} \right] + 0,01 \quad (2.7)$$

#### 2.4.4. Discusión de los resultados

Según los técnicos de la empresa ThermoWorks (sector: fabricación de sensores de temperatura)[17], si nuestros valores medidos en ambos entornos para la calibración en dos puntos ( $T_{MedBaja}$  y  $T_{MedAlta}$ ), están dentro del margen de error que proporciona el fabricante ( $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$  para el rango  $-10^{\circ}\text{C}$  a  $80^{\circ}\text{C}$  y  $\pm 1^{\circ}\text{C}$  para el resto) con respecto a sus valores teóricos ( $T_{RefBaja}$  y  $T_{RefAlta}$ ), no se debería ajustar el valor de salida, pues esto podría llevar a error:

$$T_{RefBaja} - T_{MedBaja} = 0.022^{\circ}\text{C} < \pm 0.5^{\circ}\text{C}$$

$$T_{RefAlta} - T_{MedAlta} = 0.78^{\circ}\text{C} < \pm 1^{\circ}\text{C}$$

Como los resultados obtenidos están dentro de las especificaciones, se ha decidido dejar el sensor sin ajustar.

## 3. Sensor de Temperatura KEYES KY-013

El Sensor KEYES KY-013 es un dispositivo capaz de generar un voltaje (0V a 5V) proporcional a la temperatura que lo rodea. Para ello, se basa en un termistor con coeficiente de temperatura negativo (NTC). El fabricante asegura una precisión de  $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$  para un rango de entre  $-10^{\circ}\text{C}$  a  $80^{\circ}\text{C}$ . La resolución mínima que ofrece el dispositivo es de 0.01V. El uso de este sensor requiere un ajuste de calibración previo para un funcionamiento óptimo. Para más información (anexo C.2 y tabla 3.2).

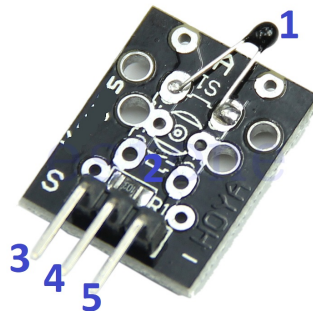


Figura 3.1: Sensor de Temperatura KEYES KY-013

Tabla 3.1: Componentes y patillaje del Sensor de Temperatura KEYES KY-013

NÚMERO DE IDENTIFICACIÓN	DESCRIPCIÓN DEL ELEMENTO
1	Termistor NTC de $\approx 100K\Omega$ a temperatura ambiente ( $\approx 25^{\circ}\text{C}$ )
2	Resistencia de $9,96K\Omega \approx 10K\Omega$
3	Patilla "S" $\Rightarrow$ Salida Analógica de Tensión ( $V_{OUT}$ )
4	Patilla central $\Rightarrow$ Alimentación ( $V_{CC}$ )
5	Patilla "-" $\Rightarrow$ Tierra (GND)

### 3.1. Esquema eléctrico

Esquema eléctrico del sensor realizado mediante la ayuda del multímetro Pro-max PD-185 y la herramienta de diseño de circuitos en línea EasyEda [6]:

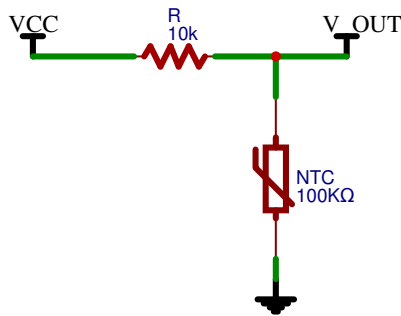


Figura 3.2: Esquema eléctrico de la PCB del Sensor de Temperatura KEYES KY-013

### 3.2. Principio de funcionamiento

El Sensor de Temperatura KEYES KY-013 está basado en un divisor de tensión compuesto por dos resistencias: un termistor NTC de  $100K\Omega$  (valor aproximado a temperatura ambiente  $\approx 25^{\circ}\text{C}$ ) y una resistencia común de  $10K\Omega$ . Al variar la temperatura, variará el valor de la  $R_{NTC}$  y por lo tanto, el voltaje de salida  $V_{OUT}$  (figura 3.2).

Si se conecta el circuito conforme al patillaje indicado en la PCB (figura 3.2), para una temperatura elevada el voltaje de salida ( $V_{OUT}$ ) tendrá valores pequeños, mientras que para temperaturas bajas se observará un nivel de voltaje ( $V_{OUT}$ ) alto. Para invertir este comportamiento se han intercambiado las patillas de Tierra y Alimentación (figura 3.3).

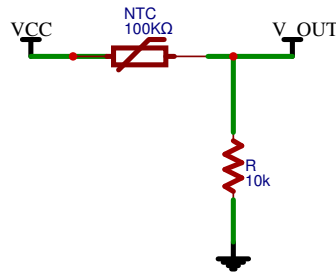


Figura 3.3: Configuración modificada del esquema eléctrico del Sensor de Temperatura KEYES KY-013

Del circuito de la figura 3.3 deducimos la siguiente ecuación:

$$V_{OUT} = \left( \frac{R_0}{R_0 + R_{NTC}} \right) \cdot V_{IN} \quad (3.1)$$

Donde:

- $V_{OUT}$  = Voltaje de salida del partidor de tensión
- $V_{IN}$  = Tensión de alimentación del circuito
- $R_0 = 10K\Omega$
- $R_{NTC}$  = Termistor que varía con un coeficiente de temperatura negativo

### 3.3. Resumen de las principales características

Tabla 3.2: Principales características del Sensor de Temperatura KEYES KY-013

<b>SALIDA</b>	ANALÓGICA (0-5V)
<b>PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO</b>	TERMISTOR NTC
<b>RESOLUCIÓN SALIDA ANALÓGICA</b>	0.01V
<b>RANGO DE TEMPERATURAS MEDIBLE</b>	-40°C A 120°C
<b>PRECISIÓN EN EL RANGO -10°C A 80°C</b>	± 0.5°C
<b>PRECISIÓN EN EL RESTO DEL RANGO</b>	± 2°C
<b>ENCAPSULADO DE LA NTC</b>	TIPO MF52

### 3.4. Método de Calibración mediante el ajuste la ecuación de SteinHart-Hart para el sensor de Temperatura KEYES KY-013

Para la calibración de los Sensores de Temperatura KEYES KY-013 (y KEYES KY-028) utilizaremos la ecuación de Steinhart-Hart (4.2)[18][19][20], que proporciona el mejor ajuste para el comportamiento de la  $R_{NTC}$  (figura 3.3) con respecto a la temperatura (caracterización).

$$\frac{1}{T} = A + (B \cdot \ln R_{NTC}) + [C \cdot (\ln R_{NTC})^3] \quad (3.2)$$

Dicha ecuación (4.2) viene determinada por tres parámetros: A, B y C. Estos parámetros están directamente relacionados con el valor de la  $R_{NTC}$  y para conocer su magnitud se procede de la siguiente manera:

En primer lugar se debe conocer el valor de la  $R_{NTC}$  a tres temperaturas diferentes, espaciadas entre sí, al menos  $10^{\circ}\text{C}$  ( $R_{NTC_{T_1}}$ ,  $R_{NTC_{T_2}}$  y  $R_{NTC_{T_3}}$ ). Para registrar el valor de dichas temperaturas, se usa un sensor previamente calibrado como referencia, que en este caso será el sensor de temperatura KEYES KY-001.

El valor de la NTC para el Sensor de Temperatura KEYES KY-013 se deduce del circuito de la figura 3.1:

$$R_{NTC} = \left( \frac{V_{IN} \cdot R_0}{V_{OUT}} \right) - R_0 \quad (3.3)$$

El valor de la  $R_{NTC}$  para el Sensor de Temperatura KEYES KY-028 se deduce del circuito 4.2:

$$R_{NTC} = \frac{V_{OUT} \cdot R_{POTENCIOMETRO}}{V_{IN} - V_{OUT}} \quad (3.4)$$

Fijaremos tres entornos de medición:

- Vaso con agua y hielo ( $R_{NTC_{T_1}}$ )

- Habitación a temperatura ambiente ( $R_{NTC_{T_2}}$ )
- Recipiente con agua hirviendo ( $R_{NTC_{T_3}}$ )

En cada medio se tomaron como mínimo 190 muestras de ambas magnitudes (temperatura y resistencia) y se estableció como valor relevante la media de las mismas (Son los mismos entornos que para las pruebas del Sensor de Temperatura KEYES KY-001, ver figuras 2.7 y 2.6a).

Para todas las mediciones, se ha de intentar mantener todos los sensores implicados (KEYES KY-013, KEYES KY-028 y KEYES KY-001) lo más próximos posibles el uno del otro, y dotarlos de aislamiento estanco. Para ello, utilizaremos el mismo aislante que en el ensayo anterior (ver sensores KEYES-KY001 y KEYES Ky-013 2.6b , 3.4).

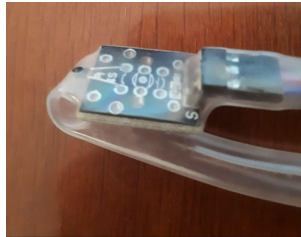


Figura 3.4: Aislamiento del Sensor de Temperatura KEYES KY013

Una vez obtenidos los valores de  $R_{NTC_{T_1}}$ ,  $R_{NTC_{T_2}}$  y  $R_{NTC_{T_3}}$ , debemos resolver e siguiente sistema de ecuaciones para obtener los parámetros A, B y C:

$$\begin{aligned}
 \frac{1}{T_1} &= A + (B \cdot \ln R_{NTC_{T_1}}) + [C \cdot (\ln R_{NTC_{T_1}})^3] \\
 \frac{1}{T_2} &= A + (B \cdot \ln R_{NTC_{T_2}}) + [C \cdot (\ln R_{NTC_{T_2}})^3] \\
 \frac{1}{T_3} &= A + (B \cdot \ln R_{NTC_{T_3}}) + [C \cdot (\ln R_{NTC_{T_3}})^3]
 \end{aligned} \tag{3.5}$$

Para la obtención de los parámetros de Steinhart Hart se ha recurrido a una calculadora on-line ([21]) que se encarga de resolver las ecuaciones características (ecuaciones 4.4). Esta calculadora nos proporciona además, datos como pueden ser el coeficiente  $\beta$  característico para cada Termistor NTC

### 3.4.1. caracterización del sensor de Temperatura KEYES KY-013

En este procedimiento se quieren obtener los siguientes parámetros:

- Curva característica del Voltaje de salida  $V_{OUT}$  frente a la temperatura.
- Curva de la potencia disipada por la resistencia  $R_{NTC}$  frente a la temperatura.

Además, se pretende estudiar el comportamiento del sensor de temperatura KEYES KY-013 (ya calibrado mediante el ajuste de la ecuación de Steinhart-Hart (apartado 3.4)), frente a otro sensor de referencia, en este caso el KEYES KY-001. Para ello, se han situado los sensores en 3 entornos diferentes (agua fría, habitación a temperatura ambiente y recipiente con agua hirviendo).

Las mediciones se han llevado de la siguiente manera:

- Se han dejado los sensores a reposar a temperatura ambiente.
- Una vez estabilizado el valor de temperatura ambiente, se introducen en el primer medio, en este caso agua hirviendo. Se dejan en el recipiente hasta que ambos alcanzan una temperatura uniforme.
- Se retiran del recipiente con agua hirviendo y se vuelven a dejar reposar hasta que alcanzan temperatura ambiente.
- Tras reposar a temperatura ambiente, se introducen en un vaso con agua fría y hielo. Se dejan en este medio hasta que se estabilizan en ciertos valores de temperatura.
- Como paso final, se vuelven a dejar a temperatura ambiente hasta que alcanzan un valor estacionario.



## 3.5. Resultados

### 3.5.1. Obtención de los parámetros A, B y C de la ecuación de SteinHart-Hart para el sensor KEYES KY-013

Para poder utilizar la calculadora online se han de introducir los datos de temperatura y resistencia requeridos. Son los siguientes:

- $T_1 = 0.53^{\circ}\text{C} \Rightarrow R_{NTC_{T_1}} = 350370\Omega$

- $T_2 = 26.4^{\circ}\text{C} \Rightarrow R_{NTC_{T_1}} = 95463\Omega$

- $T_3 = 98.98^{\circ}\text{C} \Rightarrow R_{NTC_{T_1}} = 6651\Omega$

Los resultados han sido estos:

- $A = 0,5089218645 \cdot 10^{-3}$

- $B = 2,484818972 \cdot 10^{-4}$

- $C = 0,1313142875 \cdot 10^{-7}$

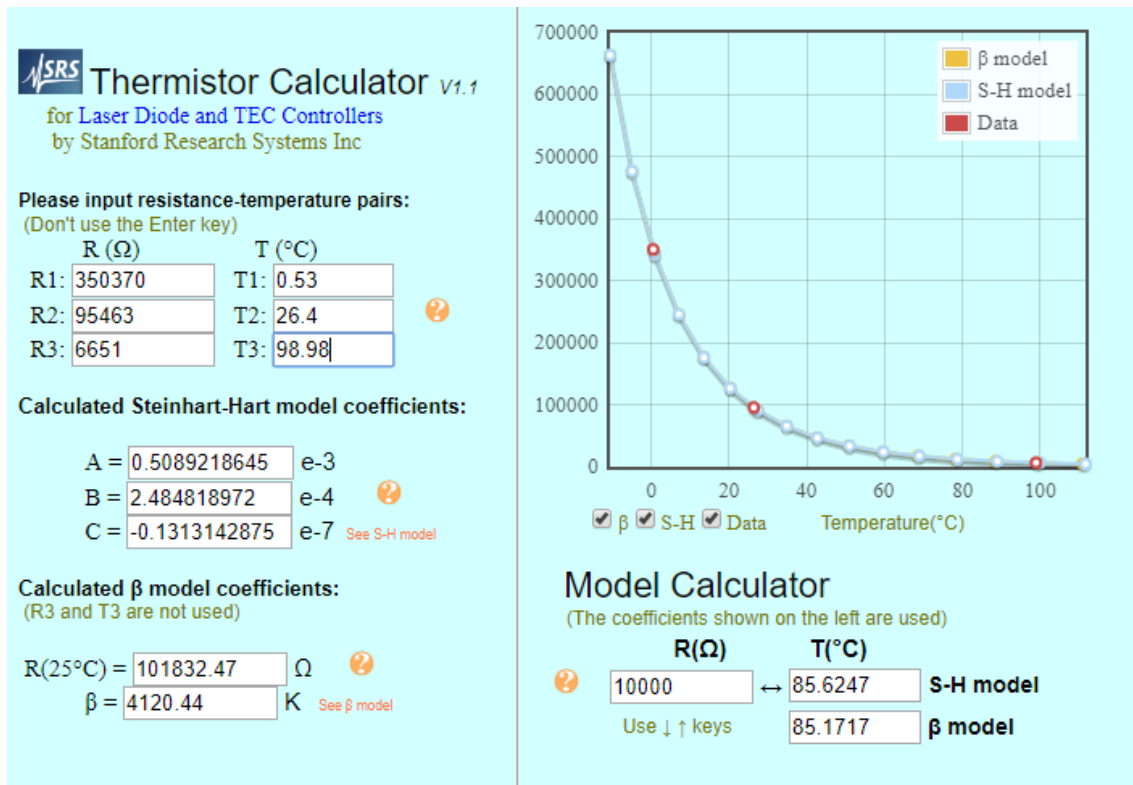


Figura 3.5: Calculadora online [21] de los parámetros A, B y C de la ecuación de Steinhart-Hart para el Sensor de Temperatura KEYES KY-013

En la figura 3.5 podemos apreciar la curva de calibración generada por el software de la calculadora online.

### 3.5.1.1. Curva característica

A continuación se muestra la gráfica con la curva característica del voltaje de salida  $V_{OUT}$  que se tiene en el divisor de tensión del circuito de la figura 3.3 frente a la variación de temperatura en el entorno:

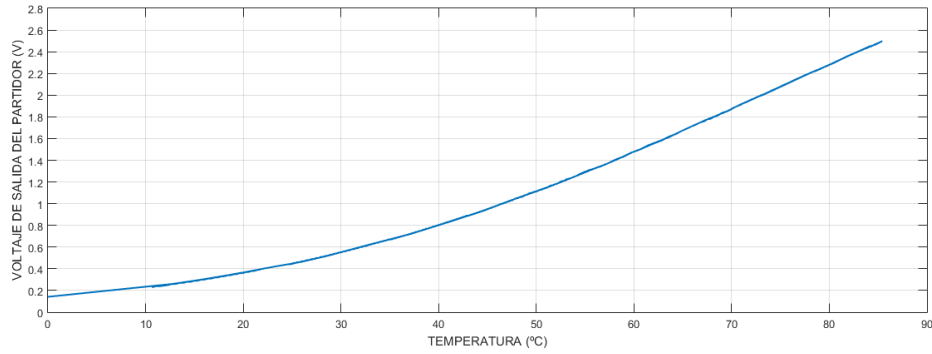


Figura 3.6: Voltaje de salida frente a Temperatura para el Sensor de Temperatura KEYES KY-013

### 3.5.1.2. Disipación de Potencia del Sensor de Temperatura KEYES KY-013

La potencia que disipa la Resistencia  $R_{NTC}$  viene definida por la siguiente ecuación:

$$P_{DISIPADA} = I^2 \cdot R_{NTC} \quad (3.6)$$

Si despejamos la intensidad que circula por la  $R_{NTC}$  del circuito de la figura 3.3 queda definida de la siguiente manera:

$$I_{NTC} = \frac{V_{CC} - V_{OUT}}{R_{NTC}} \quad (3.7)$$

Si sustituimos este término en la ecuación 3.6 el resultado es el siguiente:

$$P_{DISIPADA} = \frac{(V_{CC} - V_{OUT})^2}{R_{NTC}} \quad (3.8)$$

A continuación se muestra una gráfica en la cual se puede visualizar la potencia disipada por la resistencia  $R_{NTC}$  con respecto a la temperatura del entorno:

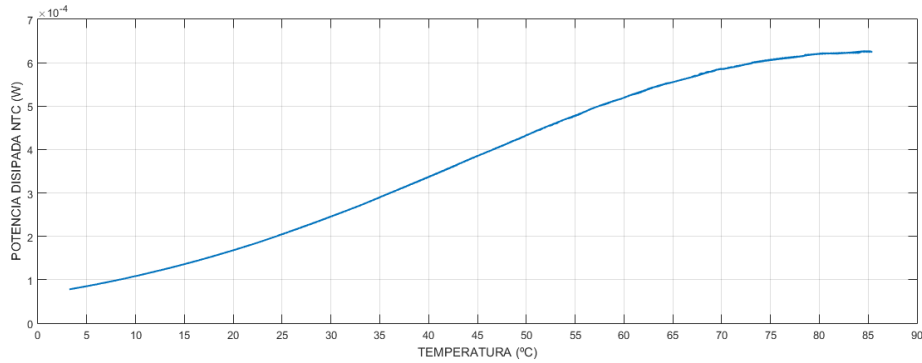


Figura 3.7: Potencia disipada por la resistencia  $R_{NTC}$  del Sensor de Temperatura KEYES KY-013

Como se puede observar, la resistencia disipa mucha más potencia cuando se encuentra a temperaturas elevadas. Esto es debido a que se trata de un termistor tipo NTC (a bajas temperaturas  $R_{NTC}$  tiene un valor alto y a altas temperaturas un valor bajo, sustituir en la ecuación 3.8).

### 3.5.1.3. Prueba simultánea de los sensores de Temperatura KEYES KY-013 y KEYES KY-001

A continuación se muestra la gráfica en la que se puede observar el comportamiento de los Sensores de Temperatura KEYES KY-013 y KEYES KY-001 para diferentes entornos.

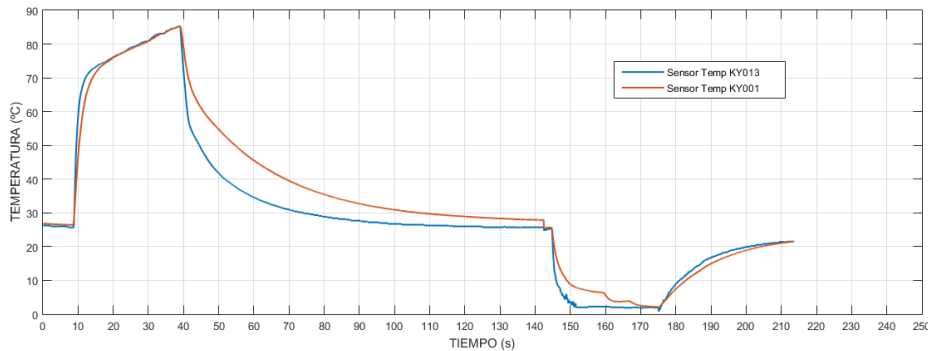


Figura 3.8: Prueba simultánea de los Sensores de Temperatura KEYES KY-001 y KEYES KY-013

### 3.5.2. Discusión de los resultados

De los resultados obtenidos en los aparatados anteriores podemos deducir lo siguiente:

- De la gráfica generada por la calculadora on-line (figura 3.5), se deduce que el sensor KEYES KY-013 varía más el valor de su resistencia ( $R_{NTC}$ ) ante pequeñas variaciones de temperatura en un rango de  $-10^{\circ}\text{C}$  a  $10^{\circ}\text{C}$  que con respecto a valores altos de temperatura (resto de rango). Esto se entiende por el grado polinómico de la ecuación que define esta curva (ecuación 4.2).
- De la gráfica figura 3.8 para la prueba simultánea del sensor KEYES KY-013 y KEYES KY-001 podemos concluir que:
  - El sensor KEYES KY-013 presenta tiempo de respuesta menor que el KEYES KY-001 con respecto a cambios de temperatura en su entorno.
  - la repetibilidad en las mediciones del KEYES KY-001 es menor que la del KEYES KY-001

## 4. Sensor de Temperatura KEYES KY-028

El sensor KEYES KY-028 es capaz de generar un voltaje (0V a 5V) proporcional a la temperatura que lo rodea. Cuenta con una salida digital del tipo todo o nada (HIGH or LOW) ajustable mediante un potenciómetro Bourns 3296 [22] y un comparador LM393 [23]. Su funcionamiento se basa, al igual que el Sensor de Temperatura KEYES KY-013 en un termistor tipo NTC (Capítulo 3). El fabricante asegura una precisión de  $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$  para el rango de temperaturas entre  $-10^{\circ}\text{C}$  a  $80^{\circ}\text{C}$ . Para más información (anexo C.2 y tabla 4.2)

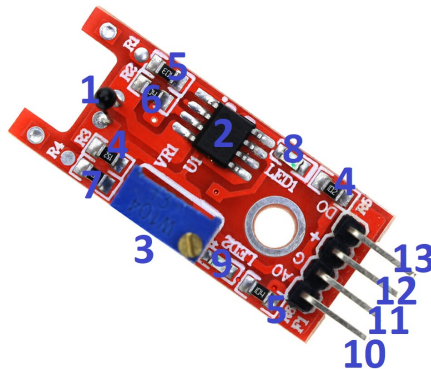


Figura 4.1: Sensor de Temperatura KEYES KY-028

Tabla 4.1: Componentes y patillaje del Sensor de Temperatura KEYES KY-028

NUMERO DE IDENTIFICACIÓN	DESCRIPCIÓN DEL ELEMENTO
1	Termistor NTC de $\approx 50\text{K}\Omega$ temperatura ambiente ( $\approx 25^{\circ}\text{C}$ )
2	Comparador LM393
3	Potenciómetro Bourns 3296 ( $10\Omega$ - $2\text{M}\Omega$ )
4	Resistencias R3 y R5 de 68, $5\text{K}\Omega$
5	Resistencias R1 y R6 de $1\text{K}\Omega$
6	Resistencia R2 de $10\text{K}\Omega$
7	Resistencias R4 de $150\Omega$

8	LED 1
9	LED 2
10	Patilla AO → Analogical Output (Salida Analógica)
11	Patilla GND → Tierra
12	Patilla + → Alimentación ( $V_{CC}$ )
13	Patilla DO → Digital Output (Salida Digital)

Esquema eléctrico del sensor realizado mediante la ayuda del multímetro Pro-max PD-185 y la herramienta de diseño de circuitos en línea EasyEda [6]:

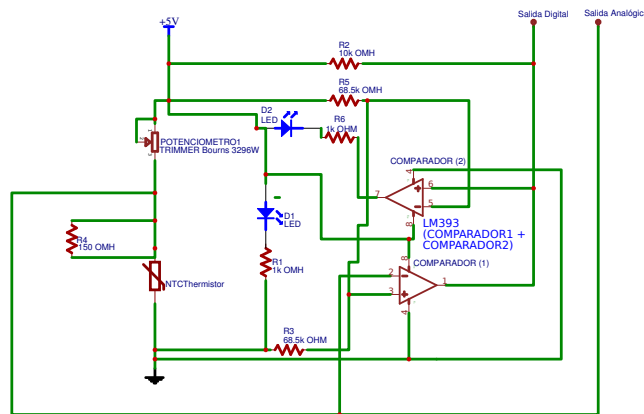


Figura 4.2: Esquema eléctrico de la PCB del Sensor de Temperatura KEYES KY-028

## 4.1. Principio de funcionamiento

El sensor de Temperatura KEYES KY-028, al igual que el KEYES KY-013, basa su principio de funcionamiento en la relación térmica presente entre la variación de la resistencia de un termistor NTC y la temperatura en su entorno. Cuenta con dos salidas:

**Salida Analógica:** La salida analógica de este sensor devuelve la tensión de salida del circuito divisor de tensión, formado por el termistor  $R_{NTC}$  y el potenciómetro Bourns 3296 (Ver figura 4.2).

La ecuación que describe este partidor es la siguiente:

$$V_{OUT} = \left( \frac{R_{NTC}}{R_{POTENCIOMETRO} + R_{NTC}} \right) \cdot V_{IN} \quad (4.1)$$

**Salida Digital:** Hace la función de alarma de nivel. Cuando se supera cierto valor de temperatura, la salida digital devuelve un 1 lógico. Mientras no se supere el valor de temperatura deseado, la salida digital se mantendrá a 0. A continuación se describen los elementos que hacen posible este funcionamiento:

- Comparador de tensión LM393: Se trata de un circuito integrado con dos comparadores en su interior. Cada uno es capaz de comparar dos voltajes. Normalmente uno suele ser un voltaje fijo de referencia y el otro un voltaje variable. El comparador es capaz de discernir cuando el voltaje de referencia es superado por el voltaje variable, y enviar una señal digital HIGH (1 lógico) por su patilla número 1.
- Partidor de tensión formado por  $R_3$  y  $R_5$  (Ver figura 4.2). Ambas resistencias tienen el mismo valor ( $68,5K\Omega$ ) para así entregar como voltaje de salida ( $V_{OUT_{R5/R6}}$ ) la mitad del voltaje de entrada ( $V_{IN}$ ). Para una entrada de 5V, el partidor entregaría un voltaje fijo de 2.5V. Este será el voltaje de referencia para el comparador LM393.
- Partidor de tensión formado por la  $R_{NTC}$  y el potenciómetro Bourns 3296. El voltaje de salida de este partidor será el voltaje variable a comparar en el comparador LM393.

Por lo tanto, cuando estamos cerca de una fuente calorífica, la cual queramos usar como temperatura de disparo de la alarma, se ha de regular el potenciómetro para que la salida  $V_{OUT}$  del partidor de tensión (formado por el propio potenciómetro y  $R_{NTC}$ ) esté lo más próximo posible al valor de 2.5V. Se ha de tener en cuenta el funcionamiento inverso del sensor donde, para temperaturas en aumento, disminuirá el voltaje de salida del partidor ( $V_{OUT}$ ) y viceversa.



## 4.2. Resumen de las principales características

Tabla 4.2: Principales características del Sensor de Temperatura KEYES KY-028

SALIDA ANALÓGICA	0-5V
SALIDA DIGITAL	TODO O NADA (0-5V)
PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO	TERMISTOR NTC
RESOLUCIÓN SALIDA ANALÓGICA	0.01V
RESOLUCIÓN SALIDA DIGITAL	DOS ESTADOS: HIGH(1) Y LOW(0)
RANGO DE TEMPERATURAS MEDIBLE	-40°C A 120°C
PRECISIÓN EN EL RANGO -10°C A 80°C	± 0.5°C
PRECISIÓN EN EL RESTO DEL RANGO	± 2°C
SENSIBILIDAD DE SALIDA DIGITAL	AJUSTABLE MEDIANTE POTENCIOMETRO
ENCAPSULADO DE LA NTC	TIPO MF52

## 4.3. Método de Calibración mediante el ajuste la ecuación de SteinHart-Hart para el sensor de Temperatura KEYES-KY028

Para la calibración de los Sensores de Temperatura KEYES KY-028 se utiliza el mismo método que para el Sensor de Temperatura KEYES KY-013 (sección 3.4), la Ecuación de Steinhart-Hart ((4.2)).

$$\frac{1}{T} = A + (B \cdot \ln R_{NTC}) + [C \cdot (\ln R_{NTC})^3] \quad (4.2)$$

El valor de la  $R_{NTC}$  para el Sensor de Temperatura KEYES KY-028 se deduce del circuito 4.2:

$$R_{NTC} = \frac{V_{OUT} \cdot R_{POTENCIOMETRO}}{V_{CC} - V_{OUT}} \quad (4.3)$$

Una vez obtenidos los valores de  $R_{NTC_{T1}}$ ,  $R_{NTC_{T2}}$  y  $R_{NTC_{T3}}$ , debemos resolver e siguiente sistema de ecuaciones para obtener los parámetros A, B y C:

$$\begin{aligned}
 \frac{1}{T_1} &= A + (B \cdot \ln R_{NTC_{T_1}}) + [C \cdot (\ln R_{NTC_{T_1}})^3] \\
 \frac{1}{T_2} &= A + (B \cdot \ln R_{NTC_{T_2}}) + [C \cdot (\ln R_{NTC_{T_2}})^3] \\
 \frac{1}{T_3} &= A + (B \cdot \ln R_{NTC_{T_3}}) + [C \cdot (\ln R_{NTC_{T_3}})^3]
 \end{aligned}
 \tag{4.4}$$

Para la obtención de los parámetros de Steinhart Hart se ha recurrido a una calculadora on-line [21] que se encarga de resolver las ecuaciones características (ecuaciones 4.4). Esta calculadora nos proporciona además, datos como pueden ser el coeficiente  $\beta$  característico para cada Termistor NTC

## 4.4. Resultados

### 4.4.1. Obtención de los parámetros A, B y C de la ecuación de SteinHart Hart para el sensor KEYES KY-028

Para poder utilizar la calculadora online se han de introducir los datos de temperatura y resistencia requeridos. Son los siguientes:

- $T_1 = 0.53^{\circ}\text{C} \Rightarrow R_{NTC_{T_1}} = 164874\Omega$
- $T_2 = 26.4^{\circ}\text{C} \Rightarrow R_{NTC_{T_1}} = 47321\Omega$
- $T_3 = 98.98^{\circ}\text{C} \Rightarrow R_{NTC_{T_1}} = 3420\Omega$

Los resultados han sido estos:

- $A = 0,7394932093 \cdot 10^{-3}$
- $B = 2,366015369 \cdot 10^{-4}$
- $C = 0,4160709595 \cdot 10^{-7}$

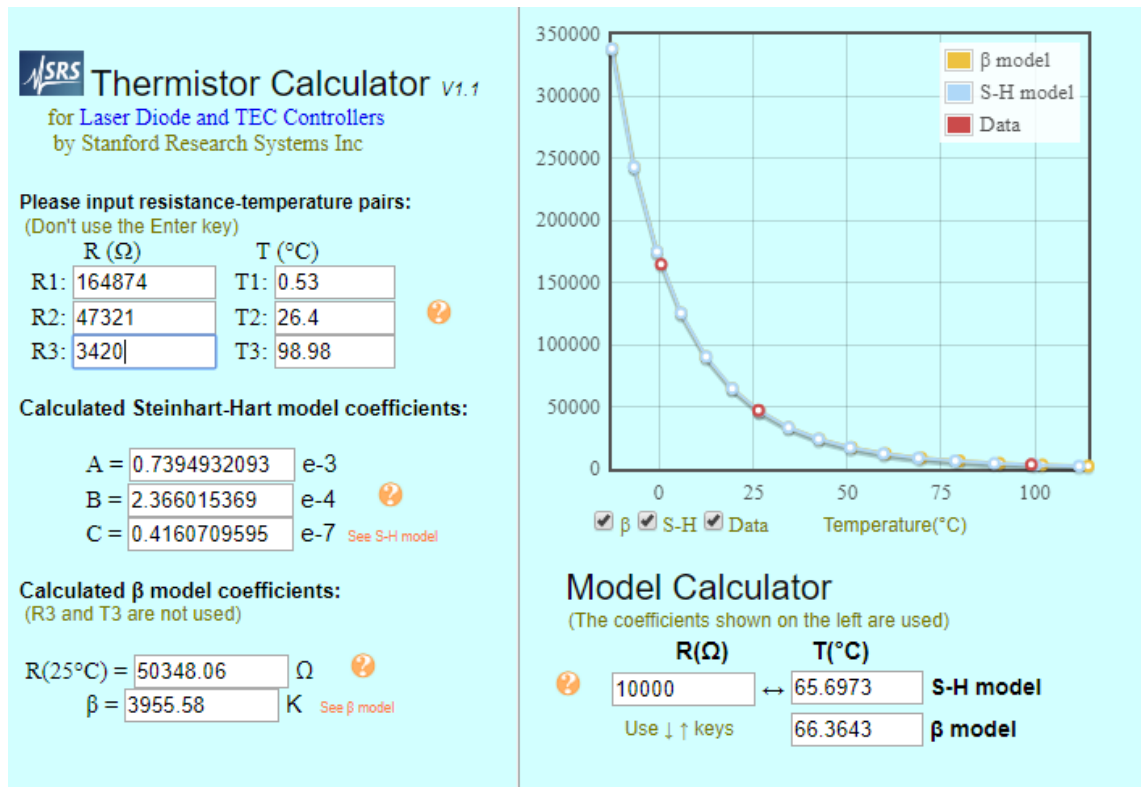


Figura 4.3: Calculadora online de los parámetros A, B y C de la ecuación de Steinhart-Hart para el Sensor de Temperatura KEYES KY-028 [21]

#### 4.4.2. Discusión de los resultados

Para hallar la temperatura mediante la ecuación de Steinhart-Hart (4.2) debemos conocer el valor de  $R_{NTC}$ . Como observamos en la ecuación 4.3,  $R_{NTC}$  viene definida por tres variables:

- Voltaje de la salida analógica  $V_{OUT}$
- Voltaje de entrada  $V_{CC}$
- Resistencia del potenciómetro  $R_{POTENCIOMETRO}$

El valor de  $V_{CC}$  al igual que el de  $V_{OUT}$  son conocidos. El valor del potenciómetro puede ser medido mediante un multímetro. La salida digital todo o nada (alarma) se ajusta mediante la variación de la resistencia del potenciómetro. Por lo tanto, surge el inconveniente de que no se puede medir la temperatura a la misma vez que

se trata de ajustar la salida digital, pues no hay manera de sustituir la variación de  $R_{POTENCIOMETRO}$  en la ecuación 4.3 utilizada en el código de Arduino.

Por lo tanto, si queremos usar el sensor para medir temperatura, debemos fijar el potenciómetro en un valor conocido. Si en cambio queremos usarlo como alarma de temperatura de una fuente calorífica se debe ajustar el valor del potenciómetro como se ha indicado anteriormente. En este aspecto, el Sensor de Temperatura KEYES KY-001 permite realizar ambas funciones (alarma y medición) de forma mucho más eficiente.

Si finalmente decidimos utilizarlo para mediciones de temperatura, debemos asegurar que el potenciómetro que incorpora esté completamente inmovilizado pues hasta el más pequeño desajuste del mismo hace que la ecuación de salida de la Temperatura varíe. Además, su tamaño es bastante mayor a los otros dos, tanto en superficie como en altura debido a los componentes que monta en su PCB.

## 5. Sensor Fotorresistor KEYES KY-018

El sensor Fotorresistor KEYES KY-018 es un dispositivo capaz de generar un voltaje (0V a 5V) proporcional a la luz que incide sobre él. Esto se basa en las propiedades de una resistencia fotodependiente (LDR) ([? ]). La relación que guarda el valor de resistencia con la incidencia de luz en su superficie es inversamente proporcional, es decir, cuanta más luz incida, menor será el valor de la resistencia y viceversa. Para más información (anexo C.4 y tabla 5.2).

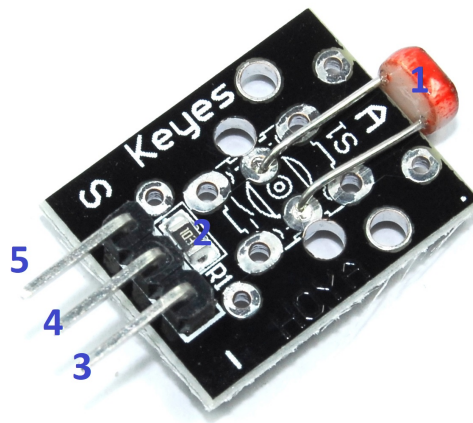


Figura 5.1: Sensor Fotorresistor KEYES KY-018

Tabla 5.1: Componentes y patillaje del Sensor Fotorresistor KEYES KY-018

NÚMERO DE IDENTIFICACIÓN	DESCRIPCIÓN DEL ELEMENTO
1	Fotorresistencia LDR
2	Resistencia de $10K\Omega$
3	Patilla " - " $\Rightarrow$ Tierra (GND)
4	Patilla Central $\Rightarrow$ Alimentación ( $V_{CC}$ )
5	Patilla " S " $\Rightarrow$ Salida Analógica de Tensión $V_{OUT}$

Esquema eléctrico del sensor realizado mediante la ayuda del multímetro Pro-

max PD-185 y la herramienta de diseño de circuitos en línea EasyEda [6]:

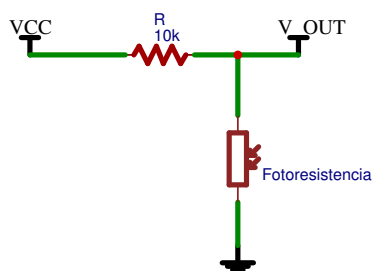


Figura 5.2: Esquema eléctrico de la PCB del Sensor Fotorresistor KEYES KY-018

## 5.1. Principio de funcionamiento

Si se conecta el circuito conforme al patillaje indicado en la PCB (figura 5.2), para una incidencia de la luz elevada, el voltaje de salida ( $V_{OUT}$ ) tendrá valores pequeños, mientras que para un bajo nivel de luz se observará un nivel de voltaje ( $V_{OUT}$ ) alto. Para invertir este comportamiento se han intercambiado las patillas de Tierra y Alimentación (figura 5.3).

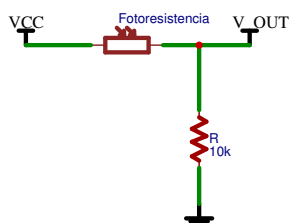


Figura 5.3: Configuración modificada del esquema eléctrico del Sensor Fotorresistor KEYES KY-018

## 5.2. Resumen de las principales características

Tabla 5.2: Principales características del Sensor Fotorresistor KEYES KY-018

<b>SALIDA</b>	ANALÓGICA (0-5V)
<b>PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO</b>	FOTORESISTENCIA
<b>RANGO ALIMENTACIÓN</b>	3-6V
<b>RESOLUCIÓN</b>	0.01V
<b>RANGO DE RESISTENCIA LDR</b>	0-6M $\Omega$
<b>RANGO DE SENSIBILIDAD LUMÍNCA</b>	0-2500LUX

## 5.3. Método de Caracterización del sensor de luminiscencia KEYES KY-018 mediante el Luxómetro BENETECH GM010

La caracterización del sensor KEYES KY-018 se basa en la obtención de la ecuación característica que nos permita obtener una relación entre la variación de la resistencia del sensor (y por lo tanto el voltaje de salida del divisor de tensión  $V_{OUT}$ ), y la exposición a la luz del mismo (luxes).

El ensayo consiste en exponer el sensor a diferentes niveles de luz y registrar el voltaje  $V_{OUT}$  que nos devuelve el divisor de tensión del circuito (figura 5.3). Para ello, en cada nivel se toman 100 muestras del voltaje y se define como representación del conjunto, la media aritmética de los mismas. Se asocia al valor de voltaje, los luxes que nos da el Luxómetro BENETECH GM010.

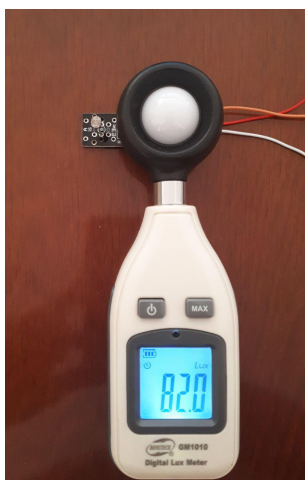


Figura 5.4: Disposición conjunta de Sensor Fotoresistor KEYES KY-018 y Luxómetro BENETECH GM010

Para generar los distintos niveles de luz, se utiliza una lámpara con cuello flexible, ajustando su posición según se requiera de mayor o menor exposición al sensor.

Una vez se han recogido todas las muestras en el software MATLAB, se grafican los datos para una mejor visualización del ensayo. Tras esto, procedemos a utilizar la herramienta de ajuste de curvas del software (Curve Fitting Tool) para obtener una ecuación que se ajuste lo mejor posible a los datos obtenidos. Para ello, se ha de probar distintas configuraciones y elegir la que a nuestro criterio se ajuste mejor.

Una vez obtenida la ecuación que defina la relación entre la exposición a la luz del sensor KEYES KY-018 y el voltaje obtenido, ajustamos el código de ARDUINO para incluir dicha expresión matemática. Como último paso, realizamos una prueba para comprobar la funcionalidad del ajuste realizado.

## 5.4. Resultados

### 5.4.0.1. Curva y ecuación característica

De la tabla A.2 podemos obtener la siguiente gráfica del comportamiento del voltaje del divisor de tensión (Ver figura 5.3) frente a los luxes recogidos por el Luxómetro BENTECH GM010.



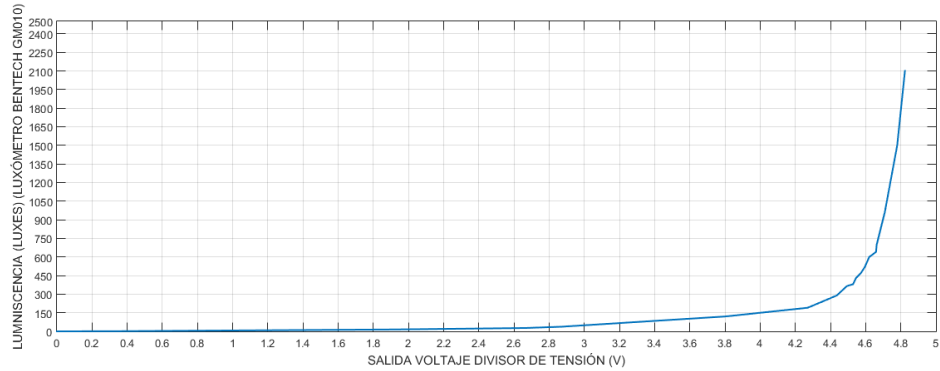


Figura 5.5: Luxes frente a voltaje del divisor de tensión para el Sensor Fotoresistor KEYES KY-018

Se puede deducir que el comportamiento del Sensor KEYES KY-018 frente a la luz sigue una distribución exponencial, siendo el sensor mucho más sensible para bajos niveles de luxes.

Para la obtención de la expresión matemática que nos da la relación entre la incidencia de luz sobre la superficie del sensor, y el voltaje generado por el mismo, se ha utilizado la herramienta de ajuste de curvas de MATLAB (Curve Fitting Tool). Probando varios modelos de aproximación sobre la curva de la figura 5.5, al final se ha decidido optar por una expresión exponencial de 4 términos:

$$\text{LUXES} = A \cdot e^{V_{OUT} \cdot B} + C \cdot e^{V_{OUT} \cdot D} \quad (5.1)$$

Donde:

- $A = 6.036$
- $B = 0.7642$
- $C = 1,332 \cdot 10^{-13}$
- $D = 7.702$

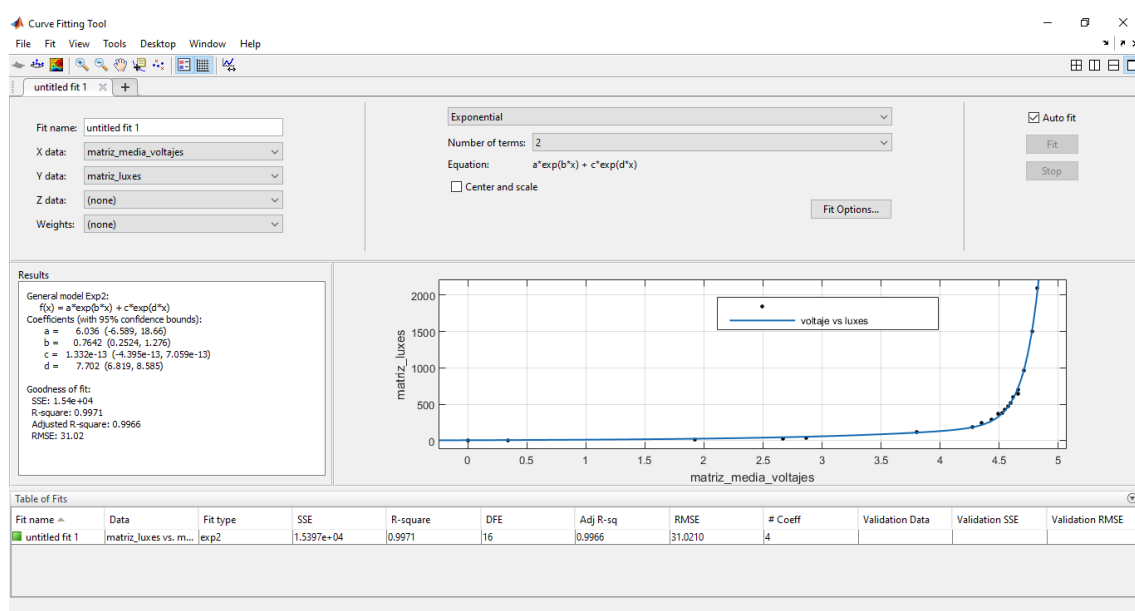


Figura 5.6: Herramienta de ajuste de curvas (Curve Fitting Tool) de MATLAB para la obtención de la ecuación característica del sensor KEYES KY-018

### 5.4.1. Discusión de los resultados

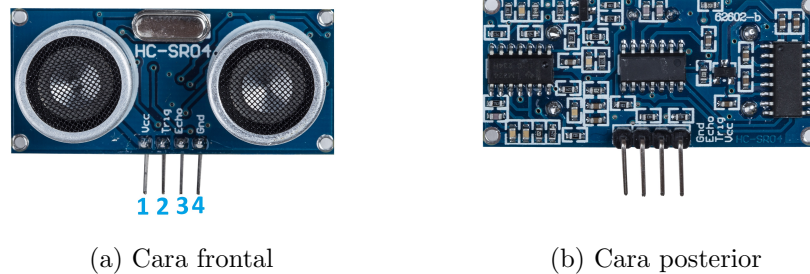
El Sensor Fotorresistor KEYES KY-018 ha sido utilizado comunmente para conocer la ausencia o presencia de luz en el entorno del mismo. Tras la caracterización que se ha realizado en este proyecto, se amplia su uso para más situaciones, ya que permite una estimación del nivel de luxes presente, aunque su precisión siga siendo ciertamente inferior a la herramienta utilizada como elemento de referencia en los ensayos (Luxómetro BENETECH GM010).

Ya que su costo ( $\geq 0.10\text{€}$ ) es mucho menor que otros luxómetros en el mercado ( $\leq 10\text{€}$ ), depende de la precisión que requiramos (y tras realizar los ajustes propuestos en este documento), puede suponer una alternativa más viable para cierto tipo de proyectos (automatización, domótica, etc).

Para mejorar aún más la precisión del mismo, se propone repetir el ensayo de caracterización aumentando el número de puntos de luz estudiados. A su vez, se entiende que una posible aproximación logarítmica de la curva exponencial de luxes frente a voltaje (figura 5.5) podría llevar a un modelo más lineal y por lo tanto a una ecuación característica más precisa.

## 6. Sensor de Ultrasonidos HC-SR04

El sensor de Ultrasonidos HC-SR04 se utiliza para medir distancias mediante la emisión y recepción de una onda de ultrasonidos. Según el fabricante el ángulo de trabajo efectivo, donde se dan los resultados más precisos, es aproximadamente de  $\pm 15^\circ$ . El rango de distancias medibles es de 4cm a 400cm, con una resolución de 0.3cm. Para más información (anexo C.3 y tabla 6.2).



(a) Cara frontal

(b) Cara posterior

Figura 6.1: Sensor de Ultrasonidos HC-SR04

Tabla 6.1: Patillaje del Sensor de Ultrasonidos HC-SR04

NÚMERO DE IDENTIFICACIÓN	DESCRIPCIÓN DEL ELEMENTO
1	Patilla $V_{CC}$ de Alimentación
2	Patilla Trigger
3	Patilla Echo
4	Patilla GND/Tierra

Esquema eléctrico del sensor realizado mediante la herramienta de diseño de circuitos en línea EasyEda [6] y usando de modelo el esquema eléctrico presente en el estudio del sensor HC-SR04 realizado por Ajoy Raman [24].

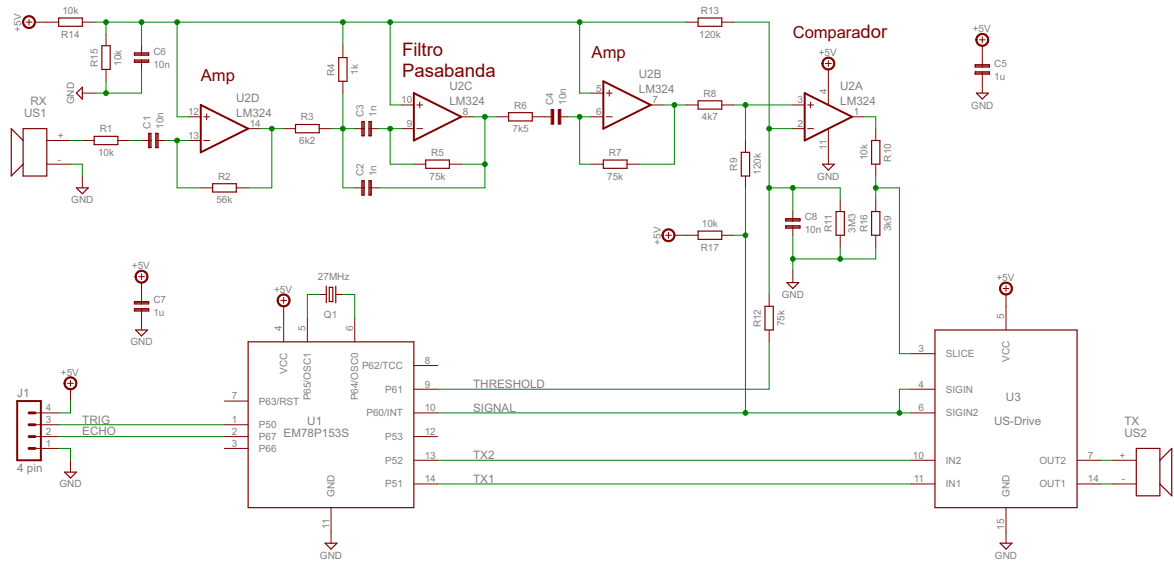


Figura 6.2: Esquema eléctrico de la PCB del Sensor de Ultrasonidos HC-SR04

## 6.1. Principio de funcionamiento

A grandes rasgos, podemos simplificar el funcionamiento del Sensor de Ultrasonidos HC-SR04 en los siguientes dos pasos:

- En primer lugar, el sensor genera un ultrasonido de 40KHz que viaja a través del aire, con el objetivo de rebotar sobre una superficie que se encuentre frente a él y luego volver al sensor.
- El segundo paso consiste en transformar el tiempo empleado por el ultrasonido para ir y volver (tras rebotar en el objeto) en una magnitud de distancia.



Figura 6.3: Principio de funcionamiento del Sensor de Ultrasonidos HC-SR04

Para realizar el proceso descrito anteriormente, debemos tener en cuenta los siguientes elementos:

- **Trigger Pin:** Se trata de entrada digital del sensor, la cual debemos mantener activa (HIGH) durante  $10\mu s$  para que se genere el ultrasonido de  $40000\text{Hz}$ .
- **Echo Pin:** Es una salida digital del sensor. Su función consiste en esperar a que el ultrasonido generado vuelva al dispositivo tras rebotar en un objeto y luego, mantenerse activo (HIGH) el tiempo que tardó dicho ultrasonido en realizar el recorrido de ida y vuelta.

Para transformar el tiempo que devuelve el Echo Pin a una unidad de distancia, simplemente se debe conocer la velocidad de una onda en el aire:

$$\text{DISTANCIA} = \text{VELOCIDAD} \cdot \text{TIEMPO} \quad (6.1)$$

En la práctica, debemos dividir el resultado de la ecuación anterior entre 2, ya que el tiempo utilizado en la fórmula es un recorrido de ida y vuelta. También debemos tener en cuenta que la velocidad del sonido depende de la temperatura ambiente.

## 6.2. Resumen de las principales características

Tabla 6.2: Principales características del Sensor de Ultrasonidos HC-SR04

SALIDA	DIGITAL
PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO	EMISIÓN Y RECEPCIÓN DE ONDA DE ULTRASONIDOS
FRECUENCIA ULTRASONIDO	40KHz
ALIMENTACIÓN	5V
ÁNGULO DE TRABAJO EFECTIVO	15°
RANGO DE DISTANCIAS MEDIBLE	4-400CM
RESOLUCIÓN	0.3CM

## 6.3. Método de calibración del Sensor de Ultrasonidos HC-SR04

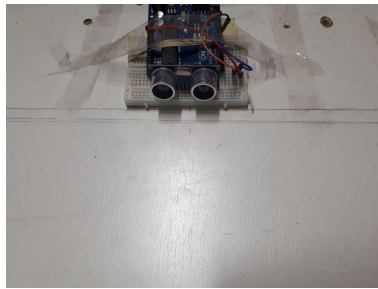
Para poder determinar la exactitud y precisión del Sensor de Ultrasonidos HC-SR04 se ha realizado el siguiente ensayo:

- Se han dispuesto unas tablas de madera sobre una superficie plana (suelo) a modo de plataforma, y se han fijado unas cintas métricas a su superficie como medida correspondiente de un patrón de referencia. Dichas cintas suman una distancia total de 400cm y tienen una resolución mínima de 1mm.
- Se ha centrado y fijado el Sensor de Ultrasonidos en un extremo de la plataforma mediante pegamento y cinta adhesiva.
- Se ha colocado una tabla de madera negra delante del sensor como elemento sobre el que debe rebotar la onda emitida por el mismo. Esta tabla ha de estar paralela al sensor.
- Empezando por 4cm (fondo de escala inferior del sensor), se ha ido moviendo la tabla negra a razón de un centímetro por medición. Por lo tanto se han realizado 397 mediciones espaciadas entre sí 1cm. En cada punto a medir se toman 50 muestras, estableciendo como medida representativa la media estadística de las mismas.

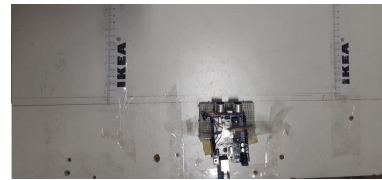
Las condiciones del ensayo han sido las siguientes:

- Temperatura ambiente:  $26.8^{\circ}\text{C}$  ( $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ )
- Humedad Relativa: 60 %
- Altitud: 29m
- Resolución: 1cm
- Tiempo de muestreo: muestras recogidas cada 100 milisegundos (50 muestras para cada medición)
- Rango de calibración: 4cm a 400cm

Tras obtener todos los datos, se han procesado en el software MATLAB para poder generar diferentes gráficas y ecuaciones que describan el comportamiento del sensor.



(a) Sensor de Ultrasonidos HC-SR04 en la plataforma



(b) Sensor de Ultrasonidos HC-SR04 en la plataforma desde otro ángulo



(c) Plataforma con cintas métricas y tabla utilizada como objeto contra el que rebotar

Figura 6.4: Entorno de calibración del Sensor de Ultrasonidos HC-SR04

## 6.4. Resultados

Tras haber realizado las mediciones correspondientes con el Sensor de Ultrasonidos HC-SR04, se han recogido todos los datos en una tabla (anexo A.1). De dicha tabla podemos obtener las siguientes gráficas que caracterizan el comportamiento del sensor:

### 6.4.1. Recta de Calibración

Despejamos de la ecuación 6.2 la  $t$ , siendo esta el tiempo que tarda la onda de ultrasonidos en ir hasta el objeto, rebotar y volver al sensor:

$$t = \frac{Distancia \cdot 20000}{v} \quad (6.2)$$

donde:  $v(m/s) = 331,3 + (0,606 \cdot T_{AIRE})$

Como podemos ver, la velocidad del sonido es dependiente de la temperatura del aire (ambiente), por lo que siempre se ha de ajustar este parámetro antes de realizar cualquier medición.

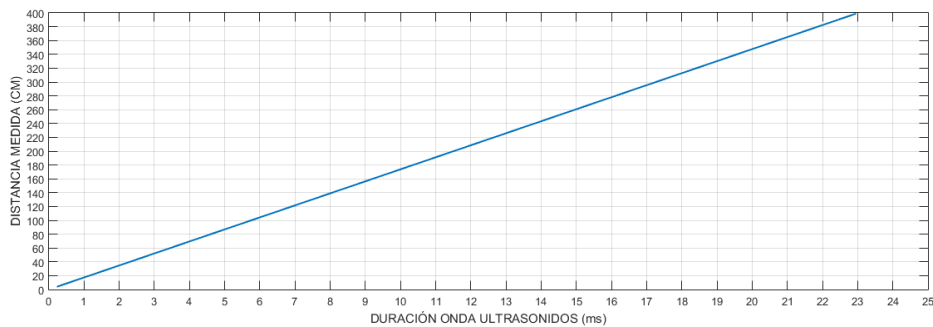


Figura 6.5: Recta de calibración para el Sensor de Ultrasonidos HC-SR04

### 6.4.2. Desviación Típica

A continuación se muestra la gráfica de la Desviación Típica presente para cada grupo de 50 muestras (tomadas cada centímetro en un rango de 4cm a 4m):



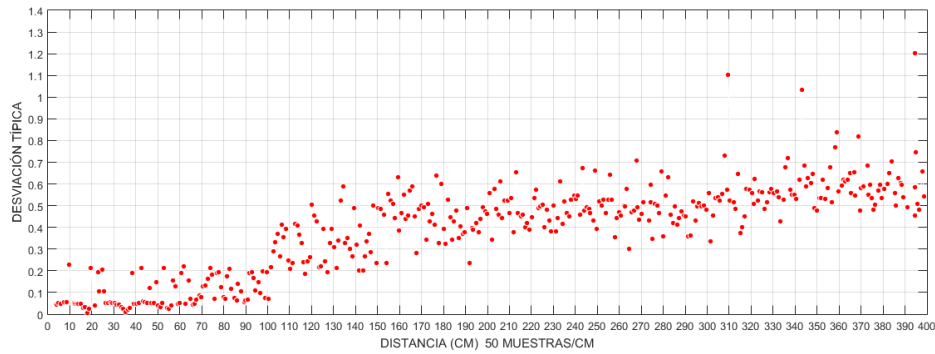


Figura 6.6: Desviación Típica para el conjunto de muestras tomadas con el Sensor de Ultrasonidos HC-SR04

De la gráfica anterior podemos deducir lo siguiente:

- Precisión mínima para distancias  $\leq 100\text{cm}$   $\Rightarrow$  Media de la medida  $\pm 0.23\text{cm}$  (buena precisión)
- Precisión mínima para distancias de 100 a 300cm  $\Rightarrow$  Media de la medida  $\pm 0.7\text{cm}$  (precisión media).
- Precisión mínima para distancias  $\geq$  a 300cm  $\Rightarrow$  Media de la medida  $\pm 1.2\text{cm}$  (mala precisión)

### 6.4.3. Ajuste de la recta de calibración

Se ha propuesto como medida de ajuste en mediciones con una resolución de 1cm, un factor de corrección obtenido mediante la técnica de regresión lineal. Para ello, debemos encontrar la ecuación característica que relaciona la distancia real con la medida por el Sensor de Ultrasonidos HC-SR04 (ver figura 6.7 y 6.8).

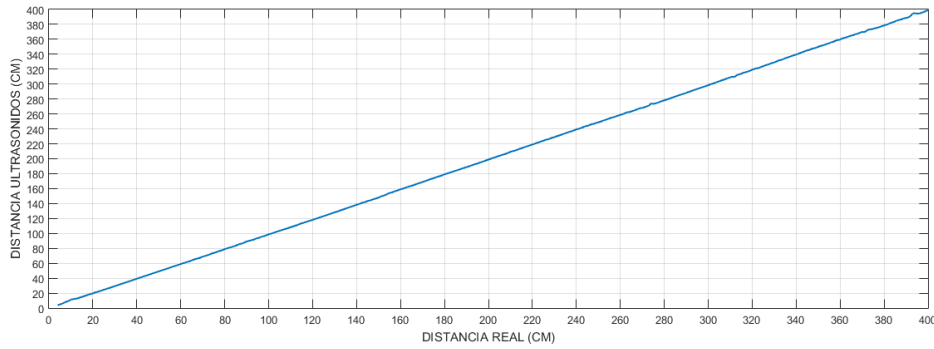


Figura 6.7: Recta que relaciona la Medida Real (cm) con la obtenida por el sensor de Ultrasonidos HC-SR04

Mediante la herramienta de ajuste de curvas (Curve Fitting Tool) se encuentra una expresión polinómica de grado 1 que satisface la recta anterior:

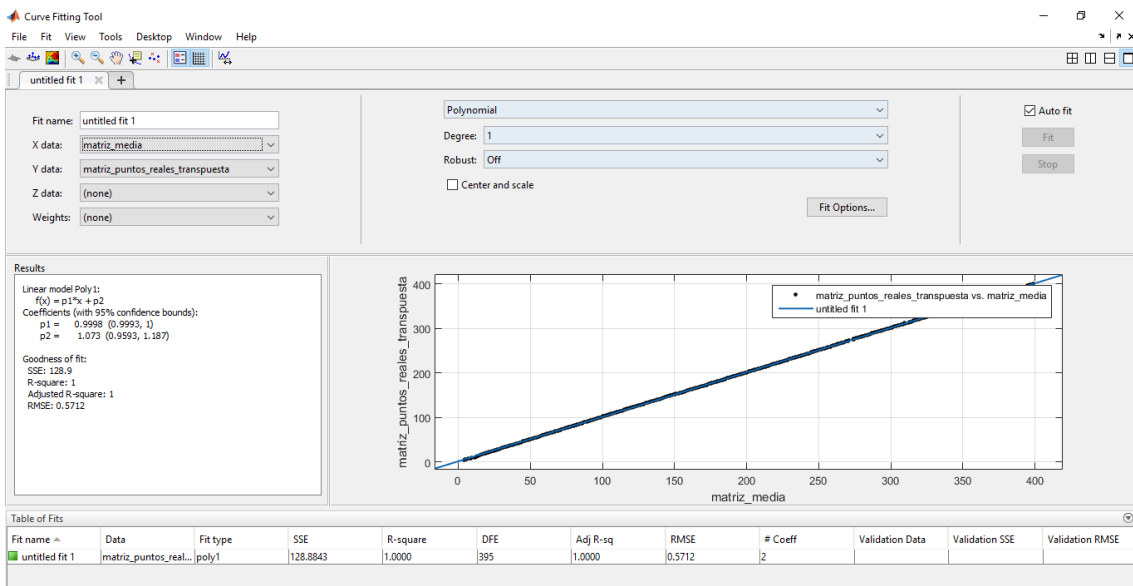


Figura 6.8: Recta que relaciona la Medida Real (cm) con la obtenida por el sensor de Ultrasonidos HC-SR04

Por lo tanto, la nueva expresión para la distancia resultante que debemos utilizar en el código es:

$$\text{Distancia Corregida} = (\text{Distancia Medida} \cdot 0,9998) + 1,073 \quad (6.3)$$

#### 6.4.4. Discusión de los resultados

En el apartado de resultados de la calibración del Sensor de Ultrasonidos HC-SR04 se ha obtenido una ecuación para redefinir el resultado de la distancia que nos devuelve el dicho sensor (Ver ecuación 6.3). Dependiendo del uso (rango de distancias a medir) que se le quiera dar al sensor, se recomienda o no utilizar este ajuste:

- Si el objeto que queremos medir se encuentra en un rango de entre 4cm y  $\approx 25$ cm, se recomienda no utilizar el ajuste, pues los datos que devuelve el sensor en este rango tienen una precisión suficiente, y el uso de la ecuación 6.3 solo empeoraría el dicha precisión.
- Si el objeto a medir está situado en un rango de entre 25cm y 400cm, se recomienda utilizar la ecuación 6.3 como factor de ajuste para mejorar la precisión.

## 7. Sensor de Humedad KEYES KY-015

El Sensor de Humedad KEYES KY-015 es capaz de medir la humedad relativa presente en su entorno y generar un dato digital en un valor de tanto por ciento (%). Se basa en las propiedades de absorción de la humedad con las que cuentan ciertos compuestos salinos, haciendo variar el voltaje entre dos electros en contacto con su superficie. El fabricante asegura una precisión de  $\pm 5\%$  HR, con una resolución de  $1\%$  HR. Para más información (anexo C.5 y tabla 7.2).

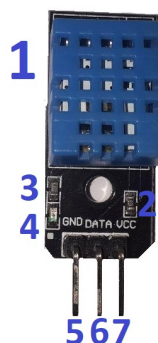


Figura 7.1: Sensor de Humedad y Temperatura KEYES KY-015

Tabla 7.1: Componentes y patillaje del Sensor de Humedad y Temperatura KEYES KY-015

NÚMERO DE IDENTIFICACIÓN	DESCRIPCIÓN DEL ELEMENTO
1	Módulo DHT11 para la medición de temperatura y humedad
2	Resistencia de $10K\Omega$
3	Resistencia de $1K\Omega$
4	Diodo LED
5	Patilla GND $\Rightarrow$ Tierra
6	Patilla central DATA $\Rightarrow$ Salida Digital $V_D$ (16Bit)
7	Patilla VCC $\Rightarrow$ Alimentación ( $V_{IN}$ )

Esquema eléctrico del sensor realizado mediante la ayuda del multímetro Pro-

max PD-185 y la herramienta de diseño de circuitos en línea EasyEda [6]:

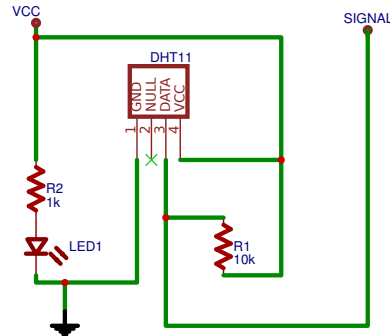


Figura 7.2: Esquema eléctrico de la PCB del Sensor de Humedad y Temperatura KEYES KY-015

## 7.1. Principio de funcionamiento

El Sensor de Humedad KEYES KY-015 basa su funcionamiento en el módulo DHT11:

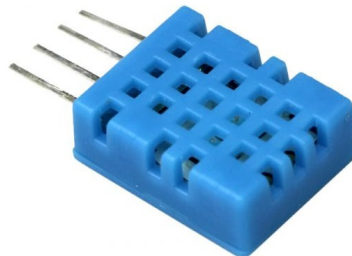


Figura 7.3: Módulo DHT11 del Sensor de Humedad y Temperatura KEYES KY-015

Dicho módulo calcula la humedad relativa mediante la medición de la variación de resistencia eléctrica entre dos electrodos. Estos electrodos están en contacto con la superficie de un elemento capaz de mantener la humedad ambiente, normalmente una sal o un polímero plástico conductor (ver figura 7.4a). Cuando el vapor de agua es absorbido por el dicho elemento, se liberan iones que incrementan la conductividad eléctrica entre los electrodos. Un nivel alto de humedad relativa hace que la resistencia entre los electrodos disminuya, mientras

que un bajo nivel de la misma produce el efecto contrario. El proceso de conversión entre la resistencia presente entre los electros a humedad relativa se realiza en un micro controlador integrado en la parte trasera de este módulo (ver figura 7.4b). Este micro controlador se encarga de procesar los datos y enviarlos en este caso al ARDUINO y contiene los coeficientes de calibración internos que han sido designados por el fabricante.

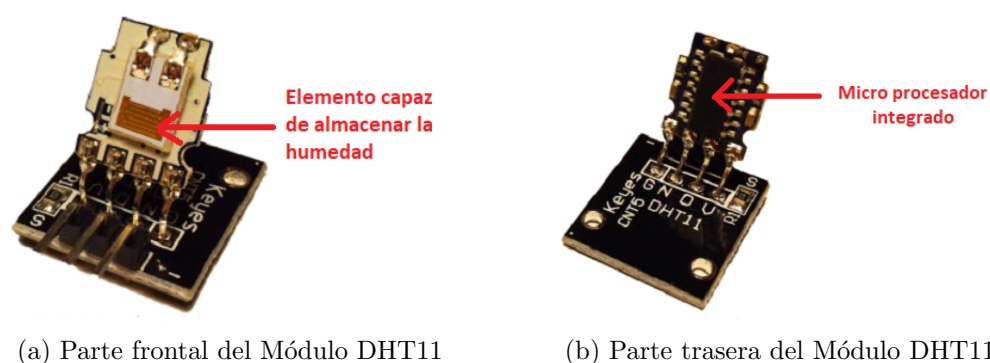


Figura 7.4: Interior del Módulo DHT11 perteneciente al Sensor de Humedad y Temperatura KEYES KY-015

Se puede observar una resistencia de  $10K\Omega$  dispuesta entre la patilla de alimentación y la patilla de transmisión de datos. Dicha resistencia se utiliza para mantener la señal de la patilla de transmisión de datos en un estado activo (HIGH) por defecto. Para conocer más detalles sobre la transmisión de datos interna en este dispositivo ver la información disponible en la hoja de especificaciones (anexo C.5).

## 7.2. Resumen de las principales características

Tabla 7.2: Principales Características del Sensor de Humedad KEYES KY-015

SALIDA	DIGITAL (16 Bit)
<b>PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO</b>	VARIACIÓN DE RESISTENCIA ENTRE DOS ELECTRODOS CONECTADOS A MATERIAL SENSIBLE A LA HUMEDAD
<b>REPETIBILIDAD (HUMEDAD)</b>	$\pm 1\% \text{ HR}$
<b>PRECISIÓN A 25°C (HUMEDAD)</b>	$\pm 5\% \text{ HR}$
<b>HISTERESIS (HUMEDAD)</b>	$<\pm 0.3\% \text{ HR}$
<b>RESOLUCIÓN (HUMEDAD)</b>	1% HR

### 7.3. Método de calibración para el Sensor de Humedad KEYES KY-015 con soluciones sal-agua como generadores de humedad

Para calibrar el Sensor de Humedad KEYES KY-015 se ha decidido utilizar como generador de humedad soluciones de agua-sal [25].

Las soluciones de agua-sal que pueden utilizarse son las siguiente:

Tabla 7.3: Posibles soluciones de sal-agua para calibración de higrómetros

TIPO DE SAL	HUMEDAD RELATIVA (%)	TEMPERATURA
<i>LiCl</i>	11,3	25
<i>MgCl<sub>2</sub></i>	32,8	25
<i>NaCl</i>	75,3	25
<i>BaCl<sub>2</sub></i>	90	25

En este ensayo y debido a la disponibilidad de materiales solo se han podido estudiar el caso de soluciones de cloruro de magnesio (*MgCl<sub>2</sub>*) y cloruro de sodio (*NaCl*).

Para conseguir el estado de humedad relativa del 32(%) se ha de realizar una solución de cloruro de magnesio y agua con la siguiente concentración:

100g de agua · 500gr de cloruro de magnesio.

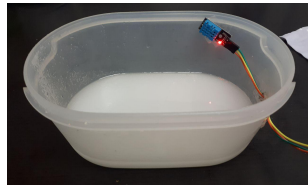
Para el estado de humedad relativa del 75(%) se ha de realizar una solución de cloruro de sodio con la siguiente concentración:

100g de agua · 500gr de cloruro de sodio.

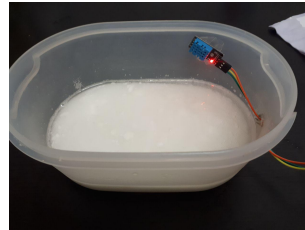
Debe quedar una gran parte sin disolver, formando una especie de pasta. Tras conseguir esta mezcla, se ha introducido la misma en un recipiente plástico utilizado como cámara de calibración. Al recipiente se le ha realizado un agujero para poder pasar los cables hasta el sensor, que ha sido fijado en la pared del mismo (ver figura 7.5):

Tras conectar el equipo, se procede a la obtención de datos mediante MATLAB durante un período de 10 horas. Se deja que el sensor se estabilice en torno a un

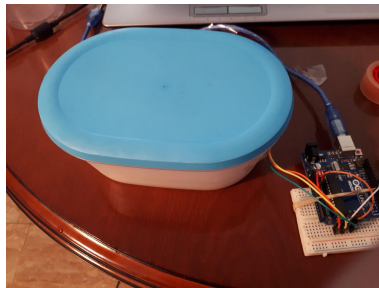
valor.



(a) Solución de cloruro de magnesio



(b) Solución de cloruro de sodio



(c) Cámara de calibración cerrada

Figura 7.5: Entorno de calibración para dos puntos del Sensor de Humedad KEYES KY-15

## 7.4. Resultados

### 7.4.1. Ensayo en solución de cloruro de magnesio

Tras haber dejado el sensor de Humedad KEYES KY-015 durante 10h en la solución de cloruro de magnesio, se ha obtenido la siguiente gráfica:



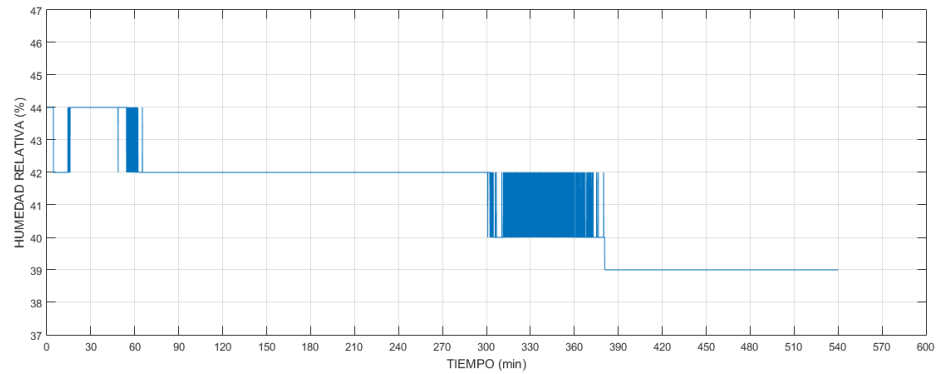


Figura 7.6: Gráfica del nivel de Humedad Relativa presente en el entorno de cloruro de magnesio

Analizando la gráfica anterior, se decide tomar como valor estabilizado de Humedad Relativa el 39 %.

#### 7.4.2. Ensayo en solución de cloruro de sodio

Tras haber dejado el sensor de Humedad KEYES KY-015 durante 10h en la solución de cloruro de sodio, se ha obtenido la siguiente gráfica:

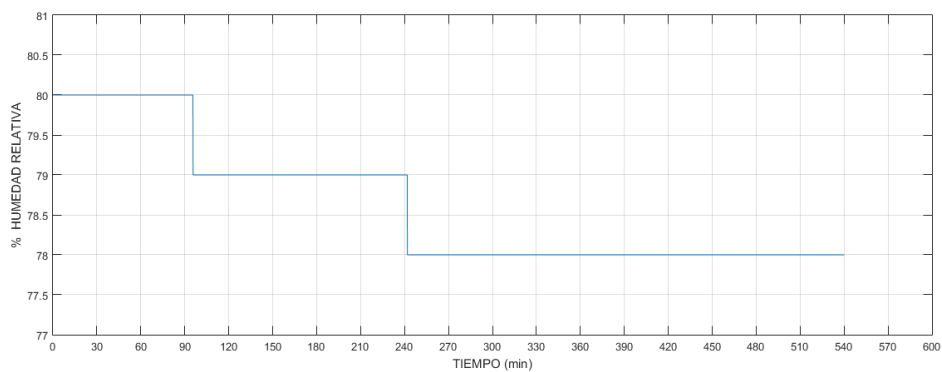


Figura 7.7: Gráfica del nivel de Humedad Relativa presente en el entorno de cloruro de sodio

Analizando la gráfica anterior, se decide tomar como valor estabilizado de Humedad Relativa el 78 %.

### 7.4.3. Ajuste de la ecuación de salida

Como proceso final en la calibración del Sensor de Humedad KEYES KY-015 y asumiendo un comportamiento lineal dentro del rango estudiado, se propone crear un factor de corrección que ajuste mejor los resultados prácticos con los teóricos.

En primer lugar visualizamos gráficamente el ajuste que deseamos:

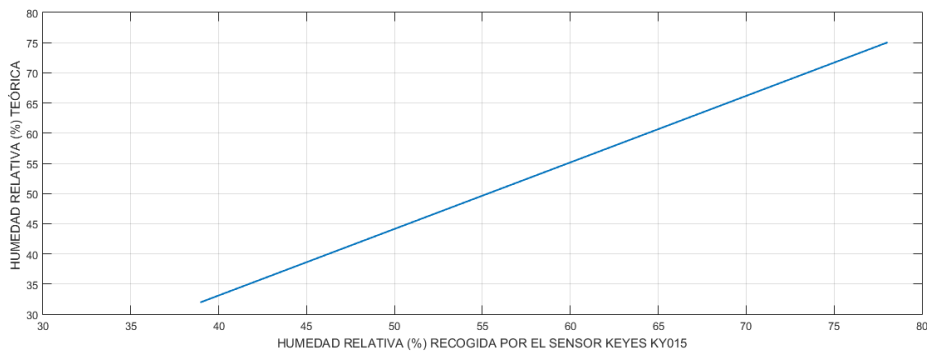


Figura 7.8: Gráfica del nivel de humedad relativa (%) teórico frente al recogido por el Sensor de Humedad KEYES KY-015

Utilizando la herramienta de ajuste de curvas de MATLAB (Curve Fitting Tool) obtenemos la ecuación de la recta característica, procediendo a corregir el valor de salida del sensor:

$$\text{HR Corregida} = \text{HR Medida} \cdot 1,103 - 11 \quad (7.1)$$

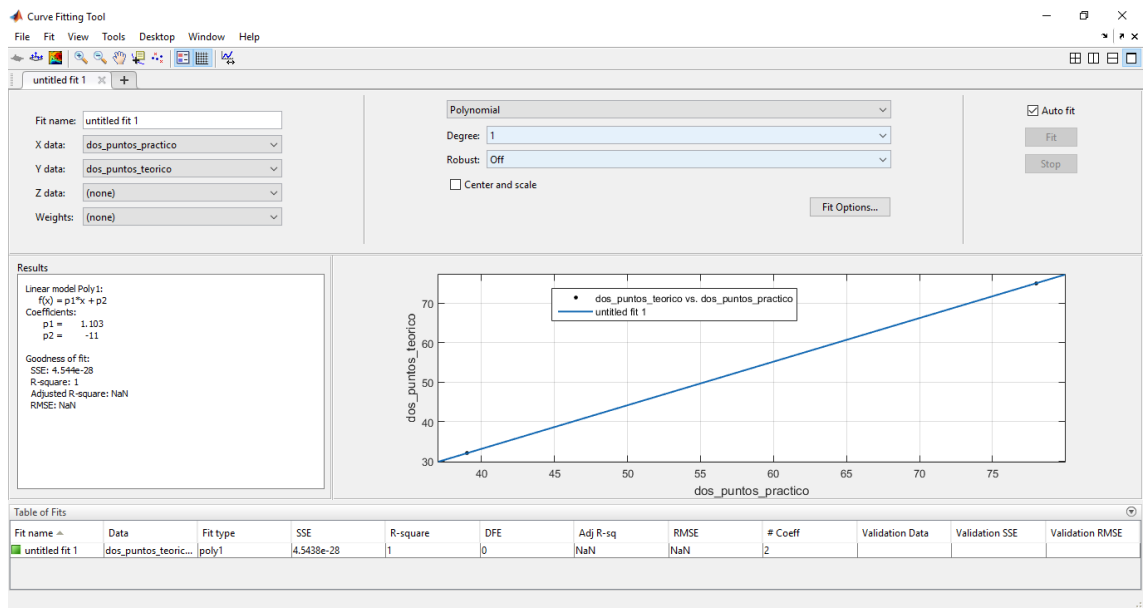


Figura 7.9: Herramienta Curve Fitting Tool de MATLAB para la obtención de la ecuación de la recta de calibración del sensor KEYES KY-015

#### 7.4.4. Discusión de los resultados

En el ensayo realizado con soluciones de sal-agua para la calibración del Sensor de Humedad KEYES KY-015, no se han podido realizar todas las disoluciones propuestas, y por lo tanto solo podemos asegurar el ajuste para entornos con una humedad relativa de entre el 30 % y el 75 %.

Para mejorar dicho ajuste, se recomienda realizar las dos soluciones sal- agua restantes propuestas: cloruro de litio y cloruro de bario (ver tabla 7.3), y así ampliar dicho rango, mejorando la precisión.

## 8. Sensor de Campo Magnético KEYES KY-035

El Sensor de Campo Magnético KEYES KY-035 es capaz de devolver un voltaje (0V a 5V) proporcional a la intensidad de campo magnético en su superficie. El principio de funcionamiento de este sensor está basado en el efecto hall. El fabricante nos asegura un comportamiento lineal para todo su rango de medida (-100mT a 100mT). Para más información (anexo C.6 y tabla 8.2).

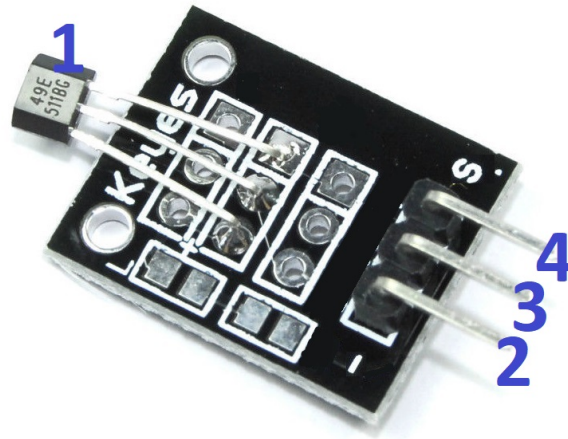


Figura 8.1: Sensor de Campo Magnético KEYES KY-035

Tabla 8.1: Componentes y patillaje del Sensor de Campo Magnético KEYES KY-035

NÚMERO DE IDENTIFICACIÓN	DESCRIPCIÓN DEL ELEMENTO
1	Módulo sensor de campo magnético SS49E
2	Patilla con el símbolo " - " ⇒ Tierra (GND)
3	Patilla central ⇒ Alimentación $V_{CC}$
4	Patilla con el símbolo "S" ⇒ Tensión de salida $V_{OUT}$

Esquema eléctrico del sensor realizado mediante la ayuda del multímetro Pro-

max PD-185 y la herramienta de diseño de circuitos en línea EasyEda [6]:

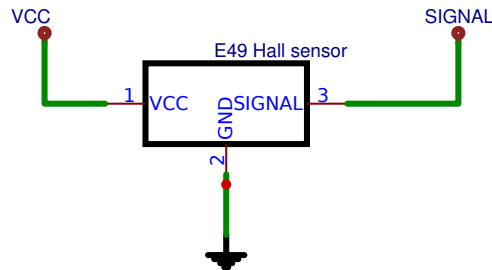


Figura 8.2: Esquema eléctrico de la PCB del Sensor de Campo Magnético KEYES KY-035

## 8.1. Principio de funcionamiento

El componente principal del Sensor de Campo Magnético KEYES KY-015 es el encapsulado SS49E. Este componente utiliza como principio físico las características del Efecto Hall. El sensor cuenta con tres patillas: una de alimentación, una de tierra y una de salida analógica de voltaje. Esta última es la que nos proporciona la relación con el campo magnético a medir y tiene las siguientes características:

- En ausencia de campo magnético, por la patilla de salida analógica obtendremos aproximadamente la mitad del voltaje suministrado por la fuente de alimentación.
- Si aproximamos el polo sur de un imán al encapsulado SS49E por la cara donde tiene los grabados que lo identifican, el voltaje proporcionado por el sensor aumentará de forma proporcional a la intensidad de dicho campo magnético.
- Si aproximamos el polo norte de un imán al encapsulado SS49E por la cara donde tiene los grabados que lo identifican, el voltaje proporcionado por el sensor disminuirá de forma proporcional a la intensidad de dicho campo magnético.

- El comportamiento explicado en los dos puntos anteriores invierte su funcionamiento si en vez de aproximar el imán a la superficie con grabados, lo aproximamos a la otra cara del sensor (sin grabados).

### 8.1.1. Efecto Hall

Si una corriente eléctrica fluye a través de un conductor situado en un campo magnético, éste campo ejerce una fuerza transversal sobre los portadores de cargas móviles, que tiende a empujarlas hacia un lado del conductor. Esto es más evidente en un conductor plano delgado como el mostrado en la figura 8.3. La acumulación de cargas en los lados del conductor, equilibrará esta influencia magnética, produciendo un voltaje medible entre los dos lados del conductor. La presencia de este voltaje transversal medible se llama efecto Hall en honor de Edwin Herbert Hall que lo descubrió en 1879.

El voltaje Hall está dado por:

$$V_{HALL} = I \cdot \frac{B}{(n \cdot e \cdot d)} \quad (8.1)$$

Donde:

- $V_H$  = Voltaje de Efecto Hall
- $I$  = Corriente eléctrica que atraviesa el conductor
- $B$  = Campo magnético
- $n$  = Densidad de los portadores de carga
- $e$  = Carga de un electrón
- $d$  = Grosor del conductor

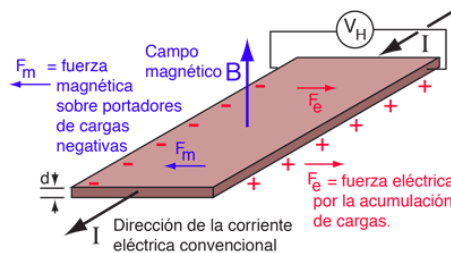


Figura 8.3: Efecto Hall sobre un conductor

## 8.2. Resumen de las principales características

Tabla 8.2: Principales características del Sensor de Campo Magnético KEYES KY-035

<b>SALIDA</b>	ANALÓGICA
<b>PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO</b>	EFEECTO HALL
<b>ALIMENTACIÓN (MÍN/MÁX)</b>	3V A 6V
<b>RANGO VOLTAJE DE SALIDA (MÍN/MÁX)</b>	1V A 5V
<b>RESOLUCIÓN VOLTAJE DE SALIDA</b>	0.01V
<b>RANGO DE INTENSIDAD DE CAMPO MAGNÉTICO MEDIBLE (MÍN/MÁX)</b>	-100mT a 100mT
<b>RANGO DE TEMPERATURA DE TRABAJO (MÍN/MÁX)</b>	-40°C a 150°C
<b>TIPO DE ENCAPSULADO</b>	TO-92

## 8.3. Método de Caracterización del Sensor de Campo Magnético KEYES KY-035

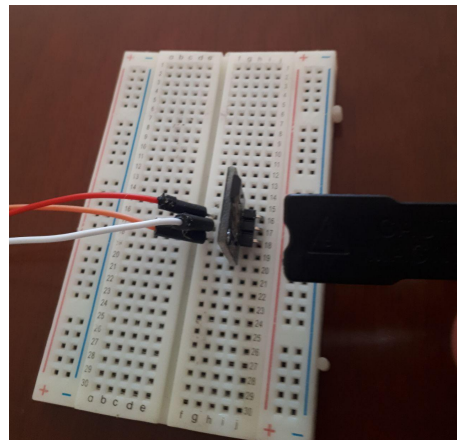
En este ensayo se ha tratado de probar las especificaciones técnicas aportadas por el fabricante (Ver referencia X) y establecer una ecuación característica que nos defina la relación entre el voltaje entregado por el sensor y campo magnético presente en su entorno.

Para ello, se ha generado una gráfica con la recta de calibración teórica. Con esta recta y mediante la ayuda de la herramienta de MATLAB para el ajuste de rectas y curvas (Curve Fitting Tool), podemos obtener una ecuación que nos de la relación entre el voltaje de salida y el campo magnético detectado por el sensor.

Una vez tenemos una ecuación característica, procedemos a calcular el OFF-SET (Variación entre el voltaje teórico y el voltaje experimental en ausencia campos magnéticos). Con este objetivo, colocamos el sensor KEYES KY-035 en una plataforma y lo fijamos al suelo mediante un adhesivo. Despejamos la zona de cualquier objetivo metálico que pueda interferir en nuestras mediciones y acto seguido procedemos a realizar la toma de muestras. Se toman 201 muestras y se establece como medida representativa la media aritmética de las mismas.



(a) Imán utilizado para el ensayo



(b) Aproximación del imán al Sensor de Campo Magnético KEYES KY-035

Figura 8.4: Entorno de caracterización del Sensor de Campo Magnético KEYES KY-035

Conocido el nivel de OFFSET, ajustamos la ecuación característica obtenida anteriormente con este nuevo valor. Tras ello, procedemos a determinar los fondos de escala superior e inferior y los comparamos con los datos que nos proporciona el fabricante. El elemento utilizado para generar el campo magnético que lleva el sensor a sus extremos es un imán tradicional. Se tratará de ubicar el mismo de forma perpendicular a la superficie del encapsulado del sensor y lo más próximo posible al mismo.

Como último paso en los ensayos realizados por nuestro sensor, se prueba la ecuación característica generada, leyendo los valores de intensidad para diferentes campos magnéticos y graficando los resultados.

## 8.4. Resultados

### 8.4.1. Ecuación Característica

Como datos de entrada para la herramienta de ajuste de curvas de MATLAB (Curve Fitting Tool) se ha situado como variable de entrada (x) el voltaje (V) y como variable de salida (y) la densidad del campo magnético (mT). Como se puede observar en la figura 8.6, se ha elegido como tipo de ecuación un polinomio



de grado 1. La ecuación característica resultante es la siguiente:

$$\text{Campo Magnético(mT)} = 66,67 \cdot V_{OUT} - 166,7 \quad (8.2)$$

Mediante esta ecuación ya tenemos un valor de campo magnético asociado al voltaje que devuelve el sensor.

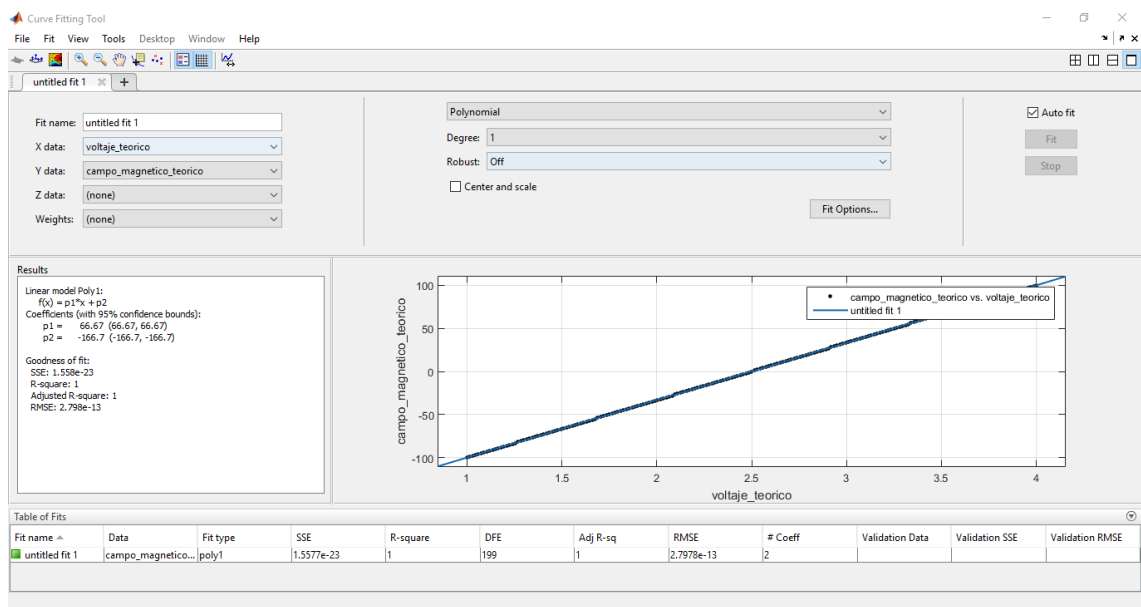


Figura 8.5: Herramienta (Curve Fitting Tool) de MATLAB para la generación de ecuaciones características

### 8.4.2. Nivel de OFFSET

Se estudia el voltaje que devuelve el sensor en ausencia de campo magnético:

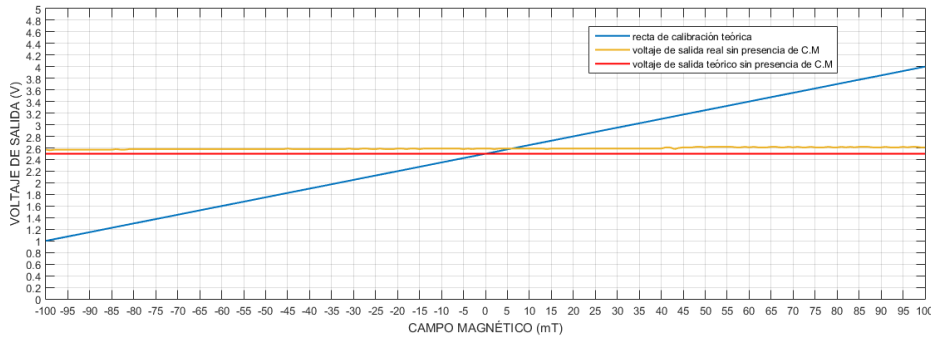


Figura 8.6: Recta teórica de calibración del Sensor de Campo Magnético KEYES KY-035 con OFFSET real

Como se puede observar, teóricamente cuando no hay presencia de campo magnético el voltaje de salida debería ser 2.5V. En nuestro ensayo experimental se observa un voltaje de salida de 2.592V (media de las 201 muestras tomadas).

Por lo tanto establecemos el siguiente nivel de OFFSET:

$$OFFSET = Valor Medido - Valor Real = 2,592V - 2,5V = 0,092V$$

Debemos modificar el voltaje de salida para que se ajuste a el valor teórico.

$$V_{OUT_{MODIFICADO}} = V_{OUT} - 0,092V$$

### 8.4.3. Fondos de escala

El fondo de escala superior y el fondo de escala inferior teóricos son los siguientes:

- Fondo de Escala Superior = 4V  $\Rightarrow \approx 100$  mT
- Fondo de Escala Inferior = 1V  $\Rightarrow \approx -100$  mT

Tras haber ajustado el valor de  $V_{OUT}$ , se lleva el sensor a sus extremos, llegando a los siguientes fondos de escala:

- Fondo de Escala Superior = 4.2V  $\Rightarrow \approx 113.31$  mT
- Fondo de Escala Inferior = 0.72V  $\Rightarrow \approx -118.7$  mT

Por lo tanto, la nueva recta de calibración queda definida de la siguiente manera:

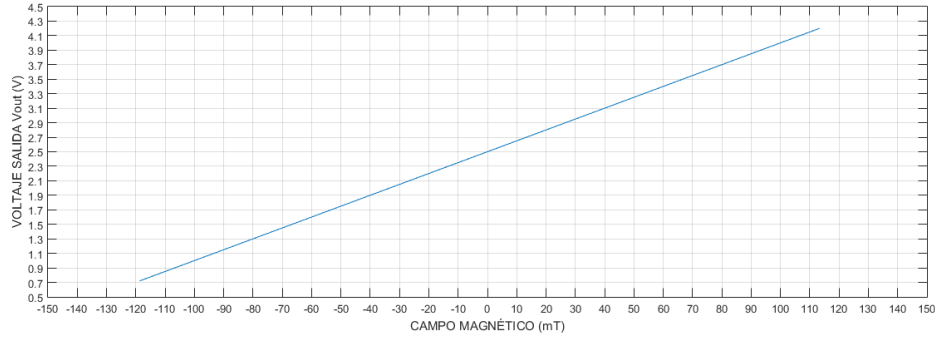


Figura 8.7: Recta de calibración real del Sensor de Campo Magnético KEYES KY-035

#### 8.4.4. Comprobación y prueba de ajustes

En este último apartado se prueba el sensor para diferentes aproximaciones de un imán común, viendo como nos devuelve a su vez un valor de campo magnético en miliTeslas (mT).

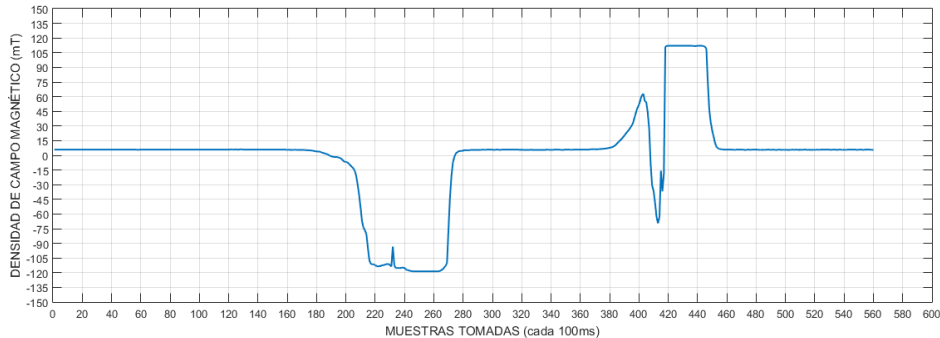


Figura 8.8: Prueba del Sensor de Campo Magnético KEYES KY-035

Como se puede observar en la figura 8.8, cuando se pega el polo norte de un imán a la cara con grabados del sensor, el valor de campo magnético se va a su límite inferior ( $\approx -120mT$ ,  $V_{OUT} = 0.8V$ ), y cuando realizamos lo mismo con el polo sur, se va a su límite superior ( $\approx 120mT$ ,  $V_{OUT} = 4.2V$ ).

### 8.4.5. Discusión de los resultados

El Sensor de Campo Magnético KEYES KY-035 se ha usado comunmente para detectar la presencia de campos magnéticos, estimando la intensidad de los mismos en función del voltaje recibido, pero sin especificar el valor de los mismos en unidades medibles.

Tras realizar la caracterización propuesta en este documento, se cuenta con un sensor que proporciona un dato de intensidad de campo magnético real y cuantificable, pero con un coste económico bajo y por lo tanto amplía sus posibilidades de uso a proyectos con mayor alcance y necesidades.

El único inconveniente observado durante todo el proceso de caracterización del sensor, es que a veces, tras realizar mediciones de intensidad de campo magnético y luego retirar el imán, este se queda con cierta carga magnética, pues sigue indicando la presencia de flujo magnético cuando no lo hay. Se ha contrastado que el defecto se corrige agitando el sensor en el aire y golpeándolo suavemente, pero no es un protocolo que se deba seguir habitualmente pues se acabaría dañando el sensor.

# 9. Conclusiones/Conclusions

## 9.1. Conclusiones

El presente Trabajo Fin de Grado versa sus contenidos sobre el análisis, caracterización y calibración de varios sensores de bajo coste probados en la plataforma Arduino, tratando de completar las especificaciones previas con las que cuentan y aportando a un futuro usuario de los mismos diferentes propuestas de mejora.

Para ello, se han seguido los siguientes pasos principalmente:

- Estudio y síntesis de las principales especificaciones técnicas.
- Búsqueda de los códigos de programación para Arduino.
- Dibujo del esquema eléctrico de la PCB.
- Realización de una calibración/caracterización, junto con la creación del entorno físico para la realización de las pruebas.
- Desarrollo de un programa en MATLAB para leer los datos por puerto serie y almacenarlos en variables predefinidas.
- Generación de gráficas y ecuaciones de ajuste a partir de los datos recogidos.

A continuación se muestra una tabla resumen de las principales tareas realizadas dentro de los métodos de caracterización y calibración planteados:

Tabla 9.1: Resumen de los principales procedimientos realizados con cada sensor

<b>SENSORES ANALIZADOS</b>	<b>PRINCIPALES TAREAS DESARROLLADAS</b>
S. TEMPERATURA KEYES KY-001	-Calibración por el método de dos puntos -Discusión sobre el ajuste del valor de salida
S. TEMPERATURA KEYES KY-013	-Calibración mediante el ajuste de los parámetros de la ecuación de Steinhart-Hart -Obtención de una curva característica y disipación de potencia -Discusión sobre el comportamiento y velocidad de respuesta frente a otros sensores
S. TEMPERATURA KEYES KY-028	-Calibración mediante el ajuste de los parámetros de la ecuación de Steinhart-Hart -Obtención de una curva característica -Discusión sobre la utilidad del sensor
S. ULTRASONIDOS HC-SR04	-Calibración mediante el uso de un patrón físico (regla con resolución de 1mm) y obtención de una ecuación de ajuste -Ajuste del valor de salida y discusión de posibles resultados de este ajuste -Discusión sobre la correcta utilización de la ecuación de ajuste
S. FOTORESISTOR KEYES KY-018	-Obtención de una ecuación característica que de una relación entre el voltaje generado y la luz que incide en su superficie -Discusión de posibles mejoras en la obtención de la ecuación característica y futuros usos
S. HUMEDAD KEYES KY-015	-Calibración mediante el uso de disoluciones de sal-agua -Obtención de una ecuación de ajuste -Discusión sobre posibilidades de mejora de proceso
S. CAMPO MAGNÉTICO KEYES KY-035	-Obtención de una ecuación característica que de la relación entre el voltaje generado y el campo magnético presente en su superficie -Discusión sobre posibles aplicaciones futuras

A raíz de los resultados obtenidos en los ensayos de calibración y caracterización, se han obteniendo modelos matemáticos de comportamiento más precisos y diferentes parámetros no especificados en las hojas de características (cabe destacar el uso de la herramienta Curve Fitting Tool de MATLAB como principal herramienta de ajuste de rectas y curvas de comportamiento).

## 9.2. Conclusions

This document focuses in the analysis, characterization and calibration of various low cost sensors tested on the Arduino platform, trying to complete the previous specifications with which they count with and contributing to a future user of them with different suggestions for improvement.

To achieve this, the next steps have been followed:

- Study and synthesis of the technical specifications
- Search for the programming codes for Arduino
- Drawing of the electrical schematic for each PCB
- Development of a calibration/characterization process, along with the creation of the physic environment for the tests.
- Development of a code in MATLAB to read data from the serial port and store it in predefined variables.
- Creation of graphics and adjust equations from the collected data

The next table englobes the principal calibration/characterization tasks that have been accomplished for each sensor:

Tabla 9.2: Resume of the principal tasks developed with each sensor

<b>ANALYZED SENSORS</b>	<b>PRINCIPAL TASKS DEVELOPED</b>
TEMPERATURE S. KEYES KY-001	-Two Point Calibration method -Discussion about the adjustment of the output value
TEMPERATURE S. KEYES KY-013	-Calibration by adjusting the Steinhart-Hart equation parameters -Obtaining a characteristic curve and the power dissipation -Discussion about the behaviour and speed response in comparison to other sensors
TEMPERATURE S. KEYES KY-028	-Calibration by adjusting the Steinhart-Hart equation parameters -Obtaining a characteristic curve -Discussion of the utility of the sensor

ULTRASOUND S. HC-SR04	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Calibration method based on the use of a measurement pattern (rule with 1mm resolution) and obtaining a adjust equation</li> <li>-Output value adjustment and discussion of posible results for this.</li> <li>-Discussion about the correct use of the adjustment equation</li> </ul>
PHOTODEPENDANT S. KEYES KY-018	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Obtaining of a characteristic equation that gives the relation between the generated voltage and the light that hits it surface</li> <li>-Discussion about possible improvements on the obtention of the characteristic equation and possible future uses for it</li> </ul>
HUMIDITY S. KEYES KY-015	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Salt-Water Disolution Calibration Method</li> <li>-Obtention of a adjustment equation</li> <li>-Discussion about possible improvements in the calibration method</li> </ul>
MAGNETIC FIELD S. KEYES KY-035	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Obtention of a characteristic equation that gives the current relationship between the generated voltage and the magnetic field present in the sensors surface</li> <li>-Discussion about future applications</li> </ul>

Due to the results obtained in the calibration/characterization tests, more precise mathematical models have been developed, along with different parameters that were not specified in the DataSheets (one of the principal tools used to achive this has been the Curve Fitting Tool of MATLAB).



# Bibliografía

- [1] AG ELECTRÓNICA S.A., *Kit de Sensores y Actuadores Compatibles con Arduino*  
Número de parte: KIT-SEN-ACT, Fecha: 2/03/2015.
- [2] GOBIERNO DE CANARIAS, *Características técnicas del ARDUINO UNO*  
<http://www3.gobiernodecanarias.org/medusa/ecoblog/ralvgon/files/2013/05/Caracter%C3%ADsticas-Arduino.pdf> [Último acceso en agosto de 2018]
- [3] MATHWORKS, *MATLAB*  
<https://es.mathworks.com/products/matlab.html> [Último acceso en septiembre 2018]
- [4] PROMAX ELECTRONICA, S. L., *PD-185*  
<https://www.diesl.es/WebRoot/StoreES2/Shops/eb0383/5356/4EF4/39AE/3494/7572/AC10/1417/0CFB/PD-18x.pdf>  
[Último acceso en marzo 2018]
- [5] WILTRONICS RESEARCH PTY. LTD, *Benetech Digital Lux Meter GM1010*  
<https://www.wiltronics.com.au/wp-content/uploads/datasheets/ME5587%20Datasheet.pdf> [Último acceso en marzo 2018]
- [6] EASYEDA, *Creación de esquemas eléctricos*  
[www.easyeda.com](http://www.easyeda.com) [Último acceso en septiembre 2018]
- [7] ARDUINO PLAYGROUND, *Dallas Semiconductor's 1-Wire Protocol*  
<https://playground.arduino.cc/Learning/OneWire> [Último acceso en septiembre 2017]
- [8] MAXIM INTEGRATED, *Comparación entre el sensor DS18B20 y el DS18S20.*  
[www.maximintegrated.com/en/app-notes/index.mvp/id/4377](http://www.maximintegrated.com/en/app-notes/index.mvp/id/4377) [Último acceso en septiembre 2017]
- [9] MAXIM INTEGRATED, *Preguntas frecuentes sobre el sensor DS18B20 (FAQS).*

- [www.maximintegrated.com/en/support/faqs/ds18b20-faq.html](http://www.maximintegrated.com/en/support/faqs/ds18b20-faq.html) [Último acceso en enero 2018]
- [10] EDWARD MALLON, *DS18B20 Calibration: Finally nailed it*  
[www.thecavepearlproject.org/2016/03/05/ds18b20-calibration-we-finally-nailed-it/](http://www.thecavepearlproject.org/2016/03/05/ds18b20-calibration-we-finally-nailed-it/) [Último acceso en diciembre 2017]
- [11] ROBERT SMITH, *Absolute Calibration of DS18B20 Thermometers*  
[http://www.kandrsmith.org/RJS/Misc/Thermometers/absolute\\_ds18b20.html](http://www.kandrsmith.org/RJS/Misc/Thermometers/absolute_ds18b20.html) [Último acceso en diciembre 2017]
- [12] GIACOMO LANZI, *Calibration of DS18B20 Sensor with Arduino UNO*  
<http://www.instructables.com/id/Calibration-of-DS18B20-Sensor-With-Arduino-UNO/> [Último acceso en noviembre 2017]
- [13] BILL EARL, *Two Point Calibration*,  
<https://learn.adafruit.com/calibrating-sensors/two-point-calibration> [Último acceso en diciembre 2017]
- [14] NATIONAL INSTITUTE OF STANDARDS AND TECHNOLOGY, *Ice Point Calibration*  
<https://www.youtube.com/watch?v=KYOJayWqB3g> [Último acceso en enero 2018]
- [15] MAPS & DIRECTIONS, *Buscar Coordenadas GPS*  
<https://www.mapsdirections.info/coordenadas-de-googlemaps.html> [Último acceso en enero 2018]
- [16] THERMOWORKS, *Check Your Boiling Point*  
<https://www.thermoworks.com/foodservice101.boiling.point> [Último acceso en enero 2018]
- [17] THERMOWORKS, *The Truth About Ice Baths: Five Secrets Revealed*  
<https://www.youtube.com/watch?v=rRKwwEZw1Rc#t=149> [Último acceso en diciembre 2017]

- [18] AMETHERM, *NTC Thermistors Steinhart and Hart Equation*  
[https://www.ametherm.com/thermistor/  
ntc-thermistors-steinhart-and-hart-equation](https://www.ametherm.com/thermistor/ntc-thermistors-steinhart-and-hart-equation) [Último  
acceso en julio 2018]
- [19] SIGNAL PROCESSING GROUP INC., *Calculating the Steinhart – Hart coefficients for temperature measurement using thermistors*. April 2002  
<http://www.signalpro.biz/steinhart.pdf> [Último acceso en  
enero 2018]
- [20] STANFORD RESEARCH SYSTEMS, *Calibrate Steinhart-Hart Coefficients for Thermistors*  
[https://www.thinksrs.com/downloads/pdfs/  
applicationnotes/LDC%20Note%204%20NTC%20Calculator.  
pdf](https://www.thinksrs.com/downloads/pdfs/applicationnotes/LDC%20Note%204%20NTC%20Calculator.pdf) [Último acceso en mayo 2018]
- [21] STANFORD RESEARCH SYSTEMS INC, *Thermistor Calculator*  
[https://www.thinksrs.com/downloads/programs/  
therm%20calc/ntccalibrator/ntccalculator.html](https://www.thinksrs.com/downloads/programs/therm%20calc/ntccalibrator/ntccalculator.html) [Último  
acceso en febrero 2018]
- [22] BOURNS, *3296-3/8" Square Trimpot Trimming Potentiometer*  
\*RoHS Directive 2002/95/EC Jan. 27, 2003 [Último acceso en agosto 2017]
- [23] TEXAS INSTRUMENTS, *LMx93-N, LM2903-N Low-Power, Low-Offset Voltage, Dual Comparators*  
SNOSBJ6F –OCTOBER 1999–REVISED DECEMBER 2014
- [24] INSTRUCTABLES, *LONG RANGE ULTRASONIC DISTANCE SENSOR*  
[https://www.instructables.com/id/  
Long-Range-Ultrasonic-Distance-Sensor/](https://www.instructables.com/id/Long-Range-Ultrasonic-Distance-Sensor/) [Último acceso  
en septiembre 2018]
- [25] JESÚS A. DÁVILA PACHECO, ENRIQUE MARTINES LÓPEZ, *VALIDACIÓN DEL MÉTODO DE CALIBRACIÓN DE HIGRÓMETROS CAPACITIVOS CON SOLUCIONES SAL-AGUA COMO GENERADORAS DE HUMEDAD* 2 al 3 de Julio de 2007  
<https://www.cenam.mx/dme/pdf/TM06.pdf> [Último acceso en junio  
2018]

- 
- [26] THOMAS KUGLESTAD (TEXAS INSTRUMENTS), *Semiconductor Temperature Sensors Challenge Precision RTDs and Thermistors in Building Automation*, Application Report SNAA267–April 2015.  
[www.ti.com/lit/an/snAA267/snAA267.pdf](http://www.ti.com/lit/an/snAA267/snAA267.pdf) [Último acceso en enero 2018]
- [27] COMPONENTES 101, *HC-SR04 Ultrasonic Sensor*  
<https://components101.com/ultrasonic-sensor-working-pinout-datasheet> [Último acceso en julio de 2018]
- [28] HOW TO MECHATRONICS, *Ultrasonic Sensor HC-SR04 and Arduino Tutorial*  
<https://howtomechatronics.com/tutorials/arduino/ultrasonic-sensor-hc-sr04/> [Último acceso en julio 2018]
- [29] RIGONZ, *HC-SR04 ULTRASONIC SENSOR – ACCURACY AND RESOLUTION TESTS*  
<https://app.box.com/s/sj7duln32in2777rcoi2> May 2014 [Último acceso en julio 2018]
- [30] M OLMO R NAVE, *HyperPhysics Electricidad y Magnetismo*  
<http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbasees/magnetic/Hall.html> [Último acceso en junio 2018]
- [31] INSTRUMENTACIÓN ELECTRÓNICA I, *CONCEPTOS Y BASES DE LOS INSTRUMENTOS ELECTRÓNICOS*  
<https://instrumentacionelectronica1.wordpress.com/tag/rango/> [Último acceso en mayo 2018]
- [32] DAVID PILLING’S WIKI, *HC-SR04*  
<https://www.davidpilling.com/wiki/index.php/HCSR04> [Último acceso en abril 2018]
- [33] SUPERMAGNETE, *¿Disponen de un imán con X gauss?*  
<https://www.supermagnete.es/faq/Disponen-de-un-iman-con-X-gauss> [Último acceso en julio 2018]
- [34] NATIONALINSTRUMENTS, *Guía para Realizar Medidas de Temperatura con Termistores*

<http://www.ni.com/white-paper/7112/es/> [Último acceso en diciembre 2017]

- [35] JAVIER I. ATORINO, LUCIANO P. BORTOLÍN, EZEQUIEL RODRÍGUEZ, RUBÉN O. FARÍAS Y EDUARDO E. RODRÍGUEZ, *Experimentos con un sensor de efecto Hall* Departamento de Física, Facultad de Ingeniería y Ciencias Exactas y Naturales, Universidad Favaloro, Av. Belgrano 1723, C1093AAR, Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina Instituto de Industria, Universidad Nacional de General Sarmiento, Juan M. Gutiérrez 1150, CP B1613GSV, Los Polvorines, Buenos Aires, Argentina

# Anexos

# A. Tablas de Datos complementarias

## A.1. Tabla de datos para el Sensor de Ultrasonidos HC-SR04

MEDIDA REAL (CM)	MEDIDA RECOGIDA (CM) (MEDIA 50 MUESTRAS)	DESVIACIÓN TÍPICA (CM)	ERROR ABSOLUTO (CM)	ERROR RELATIVO
4	3,9192	0,04275416	-0,0808	-0,0202
5	4,9102	0,05060814	-0,0898	-0,01796
6	5,85	0,04886466	-0,15	-0,025
7	7,2082	0,05393458	0,2082	0,02974286
8	8,6134	0,05396938	0,6134	0,076675
9	9,4858	0,2283221	0,4858	0,05397778
10	11,4264	0,05141905	1,4264	0,14264
11	11,8388	0,0518097	0,8388	0,07625455
12	12,4156	0,04730103	0,4156	0,03463333
13	12,9864	0,0474561	-0,0136	-0,00104615
14	13,976	0,0466861	-0,024	-0,00171429
15	14,9764	0,04805439	-0,0236	-0,00157333
16	15,9588	0,03014523	-0,0412	-0,002575
17	16,9324	0,03126973	-0,0676	-0,00397647
18	17,9484	0,00548095	-0,0516	-0,00286667
19	18,8834	0,02638877	-0,1166	-0,00613684
20	19,639	0,2121633	-0,361	-0,01805
21	20,8738	0,03843309	-0,1262	-0,00600952
22	21,4392	0,04119838	-0,5608	-0,02549091
23	22,7234	0,19561113	-0,2766	-0,01202609
24	23,4358	0,10488264	-0,5642	-0,02350833
25	24,5794	0,20538078	-0,4206	-0,016824
26	25,4326	0,10572992	-0,5674	-0,02182308
27	26,4076	0,05188527	-0,5924	-0,02194074
28	27,3624	0,0513714	-0,6376	-0,02277143
29	28,359	0,05429511	-0,641	-0,02210345
30	29,3608	0,05098379	-0,6392	-0,02130667
31	30,3518	0,05004855	-0,6482	-0,02090968
32	31,3358	0,04517946	-0,6642	-0,02075625
33	32,3346	0,04413384	-0,6654	-0,02016364
34	33,3212	0,03396517	-0,6788	-0,01996471
35	34,3142	0,02627096	-0,6858	-0,01959429
36	35,306	0,00808122	-0,694	-0,01927778
37	36,2964	0,0200774	-0,7036	-0,01901622

APÉNDICE A. TABLAS DE DATOS COMPLEMENTARIAS

38	37,2946	0,03038595	-0,7054	-0,01856316
39	38,394	0,18953218	-0,606	-0,01553846
40	39,2166	0,04653767	-0,7834	-0,019585
41	40,2606	0,04858865	-0,7394	-0,01803415
42	41,2524	0,05305215	-0,7476	-0,0178
43	42,3746	0,2120282	-0,6254	-0,01454419
44	43,2358	0,05897388	-0,7642	-0,01736818
45	44,232	0,05443588	-0,768	-0,01706667
46	45,1478	0,05323379	-0,8522	-0,01852609
47	46,2264	0,12263701	-0,7736	-0,01645957
48	47,1922	0,05222752	-0,8078	-0,01682917
49	48,18	0,05034574	-0,82	-0,01673469
50	49,2084	0,14823258	-0,7916	-0,015832
51	50,1632	0,04191537	-0,8368	-0,01640784
52	51,1532	0,03395315	-0,8468	-0,01628462
53	52,1508	0,05267691	-0,8492	-0,01602264
54	52,904	0,211135134	-1,096	-0,0202963
55	54,127	0,02815772	-0,873	-0,01587273
56	55,128	0,02398979	-0,872	-0,01557143
57	56,1136	0,04064581	-0,8864	-0,01555088
58	56,9776	0,15517679	-1,0224	-0,01762759
59	57,9986	0,12745563	-1,0014	-0,01697288
60	59,0292	0,04902478	-0,9708	-0,01618
61	60,0756	0,05261179	-0,9244	-0,0151541
62	60,8152	0,18858485	-1,1848	-0,01910968
63	61,8972	0,21864182	-1,1028	-0,01750476
64	62,6608	0,04919101	-1,3392	-0,020925
65	63,9614	0,15390177	-1,0386	-0,01597846
66	65,0132	0,06917709	-0,9868	-0,01495152
67	66,0092	0,04485077	-0,9908	-0,01478806
68	66,5908	0,04881619	-1,4092	-0,02072353
69	67,6368	0,0680468	-1,3632	-0,01975652
70	68,9672	0,08815663	-1,0328	-0,01475429
71	69,621	0,0803627	-1,379	-0,01942254
72	70,6424	0,12717592	-1,3576	-0,01885556
73	71,6302	0,13227198	-1,3698	-0,01876438
74	72,9178	0,16319876	-1,0822	-0,01462432
75	73,8182	0,21373921	-1,1818	-0,01575733
76	74,709	0,18386164	-1,291	-0,01698684
77	75,9128	0,07120078	-1,0872	-0,01411948
78	76,839	0,18892013	-1,161	-0,01488462
79	77,6786	0,195584	-1,3214	-0,01672658
80	78,9126	0,12585722	-1,0874	-0,0135925
81	79,9162	0,07992062	-1,0838	-0,01338025
82	80,9036	0,07179222	-1,0964	-0,01337073
83	81,589	0,17596672	-1,411	-0,017
84	82,6522	0,20956018	-1,3478	-0,01604524
85	83,512	0,11554662	-1,488	-0,01750588
86	84,879	0,07538337	-1,121	-0,01303488
87	85,8724	0,06281037	-1,1276	-0,01296092
88	86,511	0,13931685	-1,489	-0,01692045



APÉNDICE A. TABLAS DE DATOS COMPLEMENTARIAS

89	87,844	0,1072095	-1,156	-0,01298876
90	89,3192	0,05609176	-0,6808	-0,00756444
91	89,9512	0,06466996	-1,0488	-0,01152527
92	90,8242	0,06866333	-1,1758	-0,01278043
93	91,4948	0,18988976	-1,5052	-0,01618495
94	92,657	0,19226098	-1,343	-0,01428723
95	93,7484	0,16618603	-1,2516	-0,01317474
96	94,4586	0,11096994	-1,5414	-0,01605625
97	95,789	0,14865726	-1,211	-0,01248454
98	96,4376	0,09677578	-1,5624	-0,01594286
99	97,5522	0,19595178	-1,4478	-0,01462424
100	98,792	0,07289915	-1,208	-0,01208
101	99,5852	0,19193154	-1,4148	-0,01400792
102	100,4362	0,06930824	-1,5638	-0,01533137
103	101,6442	0,21755684	-1,3558	-0,01316311
104	102,6704	0,29104989	-1,3296	-0,01278462
105	103,5498	0,33177008	-1,4502	-0,01381143
106	104,5702	0,36846338	-1,4298	-0,01348868
107	105,5432	0,26624708	-1,4568	-0,01361495
108	106,2502	0,4113169	-1,7498	-0,01620185
109	107,292	0,35622167	-1,708	-0,01566972
110	108,2076	0,39181191	-1,7924	-0,01629455
111	109,2886	0,24923565	-1,7114	-0,01541802
112	110,173	0,21067675	-1,827	-0,0163125
113	111,1742	0,23572805	-1,8258	-0,01615752
114	112,5532	0,41521295	-1,4468	-0,01269123
115	113,461	0,4096701	-1,539	-0,01338261
116	114,4354	0,36558709	-1,5646	-0,01348793
117	115,4234	0,32668158	-1,5766	-0,01347521
118	116,3146	0,23981464	-1,6854	-0,01428305
119	117,1884	0,18604761	-1,8116	-0,01522353
120	118,125	0,24171369	-1,875	-0,015625
121	119,204	0,26179132	-1,796	-0,01484298
122	120,1854	0,50315417	-1,8146	-0,01487377
123	121,1896	0,45413277	-1,8104	-0,0147187
124	122,1916	0,42619034	-1,8084	-0,01458387
125	123,2692	0,21787321	-1,7308	-0,0138464
126	124,0534	0,21871247	-1,9466	-0,01544921
127	125,176	0,39364337	-1,824	-0,0143622
128	126,1278	0,24547571	-1,8722	-0,01462656
129	127,1668	0,19195493	-1,8332	-0,01421085
130	128,2718	0,3294627	-1,7282	-0,01329385
131	129,0482	0,39366768	-1,9518	-0,01489924
132	130,2462	0,31019342	-1,7538	-0,01328636
133	131,2018	0,2140636	-1,7982	-0,0135203
134	132,2556	0,34016299	-1,7444	-0,01301791
135	133,2272	0,52353991	-1,7728	-0,01313185
136	134,2962	0,58887263	-1,7038	-0,01252794
137	135,2248	0,32968284	-1,7752	-0,01295766
138	136,3338	0,35010138	-1,6662	-0,01207391
139	137,2728	0,30001388	-1,7272	-0,0124259

APÉNDICE A. TABLAS DE DATOS COMPLEMENTARIAS

140	138,477	0,26520112	-1,523	-0,01087857
141	139,1858	0,48915208	-1,8142	-0,01286667
142	140,397	0,32037765	-1,603	-0,01128873
143	141,4472	0,20277705	-1,5528	-0,01085874
144	142,091	0,40666513	-1,909	-0,01325694
145	143,4528	0,19996979	-1,5472	-0,01067034
146	144,0784	0,26497871	-1,9216	-0,01316164
147	145,0134	0,3362859	-1,9866	-0,01351429
148	146,1728	0,36825036	-1,8272	-0,01234595
149	146,867	0,28675703	-2,133	-0,01431544
150	148,0898	0,50091952	-1,9102	-0,01273467
151	149,3466	0,23505631	-1,6534	-0,01094967
152	150,4288	0,48764591	-1,5712	-0,01033684
153	151,2448	0,48422562	-1,7552	-0,0114719
154	152,8378	0,45870844	-1,1622	-0,00754675
155	154,1212	0,23413445	-0,8788	-0,00566968
156	154,8002	0,55494986	-1,1998	-0,00769103
157	155,9666	0,52275413	-1,0334	-0,00658217
158	156,9966	0,50993641	-1,0034	-0,00635063
159	157,8796	0,44486164	-1,1204	-0,00704654
160	159,2278	0,63247583	-0,7722	-0,00482625
161	159,8326	0,38615747	-1,1674	-0,00725093
162	161,0266	0,46728748	-0,9734	-0,00600864
163	161,9592	0,54855595	-1,0408	-0,00638528
164	162,9436	0,43867965	-1,0564	-0,00644146
165	163,753	0,45571764	-1,247	-0,00755758
166	164,6836	0,56952454	-1,3164	-0,00793012
167	165,892	0,58972494	-1,108	-0,00663473
168	166,9004	0,45054597	-1,0996	-0,00654524
169	167,7242	0,28143285	-1,2758	-0,00754911
170	168,8576	0,48490083	-1,1424	-0,00672
171	169,8636	0,5009247	-1,1364	-0,00664561
172	170,9142	0,49371598	-1,0858	-0,00631279
173	172,0488	0,34510359	-0,9512	-0,00549827
174	173,049	0,50867675	-0,951	-0,00546552
175	173,8438	0,42769382	-1,1562	-0,00660686
176	174,9932	0,46221048	-1,0068	-0,00572045
177	176,0058	0,41052028	-0,9942	-0,00561695
178	176,8542	0,63955051	-1,1458	-0,00643708
179	177,8812	0,32670676	-1,1188	-0,00625028
180	179,1162	0,59895109	-0,8838	-0,00491
181	180,0364	0,39474487	-0,9636	-0,00532376
182	180,9492	0,32535594	-1,0508	-0,00577363
183	182,103	0,52877313	-0,897	-0,00490164
184	183,0096	0,44613972	-0,9904	-0,00538261
185	183,934	0,34419382	-1,066	-0,00576216
186	184,849	0,42932909	-1,151	-0,00618817
187	185,706	0,47739087	-1,294	-0,00691979
188	186,8702	0,35008156	-1,1298	-0,00600957
189	187,7596	0,40323164	-1,2404	-0,00656296
190	188,8004	0,37152724	-1,1996	-0,00631368

APÉNDICE A. TABLAS DE DATOS COMPLEMENTARIAS

191	189,6224	0,37763258	-1,3776	-0,00721257
192	190,9168	0,48749857	-1,0832	-0,00564167
193	191,7918	0,23462249	-1,2082	-0,0062601
194	192,8432	0,39778181	-1,1568	-0,00596289
195	193,5692	0,39021627	-1,4308	-0,00733744
196	194,7414	0,42016523	-1,2586	-0,00642143
197	195,8588	0,37932077	-1,1412	-0,00579289
198	196,7418	0,43837217	-1,2582	-0,00635455
199	197,8986	0,49130817	-1,1014	-0,00553467
200	198,9064	0,47459009	-1,0936	-0,005468
201	199,905	0,4610558	-1,095	-0,00544776
202	201,065	0,55959989	-0,935	-0,00462871
203	201,9092	0,34229621	-1,0908	-0,0053734
204	203,0846	0,57816815	-0,9154	-0,00448725
205	203,9506	0,48540499	-1,0494	-0,00511902
206	204,96	0,45721428	-1,04	-0,00504854
207	205,837	0,61002927	-1,163	-0,00561836
208	206,7528	0,44306005	-1,2472	-0,00599615
209	207,9208	0,52209093	-1,0792	-0,00516364
210	209,2836	0,52213752	-0,7164	-0,00341143
211	210,1402	0,46427688	-0,8598	-0,00407488
212	210,872	0,53488126	-1,128	-0,00532075
213	211,9368	0,37741029	-1,0632	-0,00499155
214	213,0822	0,65526841	-0,9178	-0,00428879
215	213,9676	0,46583942	-1,0324	-0,00480186
216	215,2158	0,45201178	-0,7842	-0,00363056
217	216,0484	0,45821018	-0,9516	-0,00438525
218	217,018	0,39945371	-0,982	-0,00450459
219	218,0382	0,41935173	-0,9618	-0,00439178
220	219,0144	0,38926493	-0,9856	-0,00448
221	220,1196	0,44604823	-0,8804	-0,00398371
222	221,2244	0,5354958	-0,7756	-0,00349369
223	222,1582	0,5734916	-0,8418	-0,00377489
224	223,2724	0,49067035	-0,7276	-0,00324821
225	224,1018	0,49765446	-0,8982	-0,003992
226	225,317	0,50332061	-0,683	-0,00302212
227	226,0066	0,40095605	-0,9934	-0,00437621
228	227,0344	0,48014097	-0,9656	-0,00423509
229	228,1596	0,43253387	-0,8404	-0,00366987
230	228,9988	0,38078673	-1,0012	-0,00435304
231	230,123	0,50220026	-0,877	-0,00379654
232	231,0928	0,38165611	-0,9072	-0,00391034
233	231,964	0,44243298	-1,036	-0,00444635
234	233,2658	0,6127925	-0,7342	-0,00313761
235	234,0556	0,41546217	-0,9444	-0,00401872
236	235,1246	0,51876309	-0,8754	-0,00370932
237	236,1868	0,4653392	-0,8132	-0,00343122
238	237,1206	0,45112291	-0,8794	-0,00369496
239	238,0654	0,5276796	-0,9346	-0,00391046
240	239,3196	0,54646157	-0,6804	-0,002835
241	240,1254	0,52937472	-0,8746	-0,00362905

APÉNDICE A. TABLAS DE DATOS COMPLEMENTARIAS

242	240,9976	0,5450241	-1,0024	-0,00414215
243	242,263	0,45938402	-0,737	-0,00303292
244	243,3768	0,6738117	-0,6232	-0,0025541
245	244,1502	0,47822158	-0,8498	-0,00346857
246	245,1144	0,49199784	-0,8856	-0,0036
247	246,313	0,48555985	-0,687	-0,00278138
248	246,8056	0,46769151	-1,1944	-0,00481613
249	248,0522	0,43109396	-0,9478	-0,00380643
250	248,7742	0,66102916	-1,2258	-0,0049032
251	249,7354	0,3940072	-1,2646	-0,00503825
252	250,7856	0,51875502	-1,2144	-0,00481905
253	251,9416	0,50241604	-1,0584	-0,0041834
254	252,8222	0,52786551	-1,1778	-0,00463701
255	253,9636	0,46679437	-1,0364	-0,00406431
256	254,976	0,52904226	-1,024	-0,004
257	255,8124	0,64364891	-1,1876	-0,00462101
258	256,6968	0,52708842	-1,3032	-0,00505116
259	257,9014	0,35382464	-1,0986	-0,0042417
260	258,6444	0,4411819	-1,3556	-0,00521385
261	259,7568	0,47126595	-1,2432	-0,00476322
262	260,7694	0,45390555	-1,2306	-0,00469695
263	262,223	0,50135022	-0,777	-0,00295437
264	262,468	0,49662946	-1,532	-0,00580303
265	263,4728	0,575982	-1,5272	-0,00576302
266	264,279	0,29981797	-1,721	-0,00646992
267	265,4706	0,46952173	-1,5294	-0,00572809
268	266,6424	0,47760269	-1,3576	-0,00506567
269	267,7528	0,70887966	-1,2472	-0,00463643
270	268,1342	0,49266079	-1,8658	-0,00691037
271	269,0342	0,43384418	-1,9658	-0,00725387
272	270,1732	0,46130445	-1,8268	-0,00671618
273	271,053	0,51771969	-1,947	-0,00713187
274	274,161	0,59459556	0,161	0,00058759
275	273,4192	0,43078874	-1,5808	-0,00574836
276	274,1808	0,51522074	-1,8192	-0,0065913
277	275,0554	0,34534934	-1,9446	-0,00702022
278	276,2818	0,50734881	-1,7182	-0,00618058
279	277,3222	0,50186709	-1,6778	-0,00601362
280	278,181	0,46490398	-1,819	-0,00649643
281	279,228	0,65899429	-1,772	-0,00630605
282	280,1178	0,35896842	-1,8822	-0,00667447
283	281,2466	0,5458437	-1,7534	-0,00619576
284	282,336	0,63214891	-1,664	-0,00585915
285	283,4322	0,45753684	-1,5678	-0,00550105
286	284,3798	0,4210991	-1,6202	-0,00566503
287	285,3888	0,49805598	-1,6112	-0,00561394
288	286,3564	0,41149186	-1,6436	-0,00570694
289	287,132	0,44329932	-1,868	-0,00646367
290	288,3634	0,47263745	-1,6366	-0,00564345
291	289,3476	0,45641263	-1,6524	-0,00567835
292	290,3424	0,45181521	-1,6576	-0,00567671

APÉNDICE A. TABLAS DE DATOS COMPLEMENTARIAS

293	291,4368	0,36001383	-1,5632	-0,00533515
294	292,4966	0,36229771	-1,5034	-0,00511361
295	293,4894	0,52130296	-1,5106	-0,00512068
296	294,5206	0,43275298	-1,4794	-0,00499797
297	295,5538	0,49578999	-1,4462	-0,00486936
298	296,3786	0,51106935	-1,6214	-0,00544094
299	297,5374	0,49752781	-1,4626	-0,00489164
300	298,4012	0,5010342	-1,5988	-0,00532933
301	299,7748	0,48097367	-1,2252	-0,00407043
302	300,5756	0,55752427	-1,4244	-0,00471656
303	301,5244	0,33435384	-1,4756	-0,00486997
304	302,773	0,45400373	-1,227	-0,00403618
305	303,828	0,53570476	-1,172	-0,00384262
306	304,8186	0,53836491	-1,1814	-0,00386078
307	305,83	0,52344619	-1,17	-0,00381107
308	306,8888	0,55327094	-1,1112	-0,00360779
309	308,0384	0,72889169	-0,9616	-0,00311197
310	308,9862	0,57521918	-1,0138	-0,00327032
311	310,0896	0,5216495	-0,9104	-0,00292733
312	309,4112	1,10240302	-2,5888	-0,00829744
313	312,0638	0,51686611	-0,9362	-0,00299105
314	313,0168	0,48624106	-0,9832	-0,00313121
315	313,8346	0,64496863	-1,1654	-0,00369968
316	315,309	0,37352841	-0,691	-0,00218671
317	315,8058	0,4021579	-1,1942	-0,00376719
318	316,8944	0,45132983	-1,1056	-0,00347673
319	317,7856	0,57765946	-1,2144	-0,0038069
320	319,193	0,57211833	-0,807	-0,00252187
321	320,4318	0,55833093	-0,5682	-0,00177009
322	321,071	0,50865669	-0,929	-0,00288509
323	321,667	0,62186766	-1,333	-0,00412693
324	322,9726	0,521645	-1,0274	-0,00317099
325	323,9664	0,56692785	-1,0336	-0,00318031
326	325,0726	0,56064034	-0,9274	-0,00284479
327	325,9782	0,48564575	-1,0218	-0,00312477
328	327,0568	0,51557948	-0,9432	-0,00287561
329	328,1902	0,56091576	-0,8098	-0,0024614
330	329,0524	0,57661772	-0,9476	-0,00287152
331	330,2262	0,55628465	-0,7738	-0,00233776
332	331,6118	0,56744573	-0,3882	-0,00116928
333	332,4268	0,53821868	-0,5732	-0,00172132
334	333,1278	0,42932453	-0,8722	-0,00261138
335	334,713	0,52599856	-0,287	-0,00085672
336	335,5228	0,67741417	-0,4772	-0,00142024
337	336,5222	0,71876109	-0,4778	-0,0014178
338	337,6552	0,57293102	-0,3448	-0,00102012
339	338,6252	0,54947931	-0,3748	-0,0011056
340	339,6722	0,55117792	-0,3278	-0,00096412
341	340,6	0,53035991	-0,4	-0,00117302
342	341,8058	0,61913069	-0,1942	-0,00056784
343	342,9404	1,03555754	-0,0596	-0,00017376

APÉNDICE A. TABLAS DE DATOS COMPLEMENTARIAS

344	344,0662	0,68366029	0,0662	0,00019244
345	345,1296	0,58931977	0,1296	0,00037565
346	345,8748	0,62826044	-0,1252	-0,00036185
347	347,078	0,60578167	0,078	0,00022478
348	347,9392	0,64724168	-0,0608	-0,00017471
349	348,608	0,49020196	-0,392	-0,00112321
350	349,9004	0,47727526	-0,0996	-0,00028457
351	350,9826	0,53575737	-0,0174	-4,96E-05
352	351,7814	0,53501101	-0,2186	-0,00062102
353	352,6082	0,62033464	-0,3918	-0,00110992
354	353,8536	0,53269726	-0,1464	-0,00041356
355	354,67	0,579243	-0,33	-0,00092958
356	355,976	0,67823902	-0,024	-6,74E-05
357	356,796	0,51677572	-0,204	-0,00057143
358	358,2508	0,76840104	0,2508	0,00070056
359	358,9572	0,83836099	-0,0428	-0,00011922
360	359,665	0,56482343	-0,335	-0,00093056
361	361,1186	0,59191495	0,1186	0,00032853
362	362,0246	0,62034293	0,0246	6,80E-05
363	362,8526	0,61155142	-0,1474	-0,00040606
364	363,9384	0,61925353	-0,0616	-0,00016923
365	364,8656	0,64998637	-0,1344	-0,00036822
366	365,5382	0,55776774	-0,4618	-0,00126175
367	366,9142	0,65450118	-0,0858	-0,00023379
368	367,393	0,54741042	-0,607	-0,00164946
369	368,8362	0,82047992	-0,1638	-0,0004439
370	370,02	0,58095628	0,02	5,41E-05
371	369,5954	0,47595322	-1,4046	-0,00378598
372	371,2622	0,58777786	-0,7378	-0,00198333
373	373,1344	0,68282475	0,1344	0,00036032
374	373,3554	0,55222818	-0,6446	-0,00172353
375	373,9994	0,59648087	-1,0006	-0,00266827
376	374,8262	0,53415541	-1,1738	-0,00312181
377	375,6542	0,47964736	-1,3458	-0,00356976
378	376,4896	0,50500337	-1,5104	-0,00399577
379	377,752	0,56787826	-1,248	-0,00329288
380	378,5138	0,59468699	-1,4862	-0,00391105
381	379,4506	0,53450878	-1,5494	-0,00406667
382	380,5304	0,5774326	-1,4696	-0,00384712
383	381,9626	0,60111057	-1,0374	-0,00270862
384	382,8538	0,65098321	-1,1462	-0,0029849
385	383,872	0,70569115	-1,128	-0,00292987
386	385,3542	0,55848954	-0,6458	-0,00167306
387	385,987	0,49900411	-1,013	-0,00261757
388	386,8146	0,62841625	-1,1854	-0,00305515
389	388,0038	0,60345566	-0,9962	-0,00256093
390	388,6098	0,59664193	-1,3902	-0,00356462
391	389,3566	0,54076141	-1,6434	-0,00420307
392	390,9644	0,49377414	-1,0356	-0,00264184
393	394,5816	1,20194292	1,5816	0,00402443
394	394,8588	0,74788857	0,8588	0,0021797

APÉNDICE A. TABLAS DE DATOS COMPLEMENTARIAS

395	394,4876	0,58474331	-0,5124	-0,00129722
396	394,4564	0,45335826	-1,5436	-0,00389798
397	395,476	0,50827841	-1,524	-0,00383879
398	396,5006	0,48307438	-1,4994	-0,00376734
399	397,8668	0,6567093	-1,1332	-0,0028401
400	398,855	0,54369203	-1,145	-0,0028625

Tabla A.1: Tabla con los datos recogidos para el Sensor de Ultrasonidos HC-SR04

## A.2. Tabla de datos recogidos para el Sensor Fotoresistor KEYES KY-018

A continuación se muestran los datos obtenidos para el ensayo de obtención de muestras a diferentes niveles de luz:

NIVEL DE LUZ (LUXES) LUXÓMETRO BENTECH GM010	MEDIA DEL VOLTAJE (V) PARA 100 MUESTRAS	DESVIACIÓN TÍPICA DEL CONJUNTO DE MUESTRAS
0	0	0
1	0,3387	0,00544114515576092
15	1,9226	0,00690776170095435
27	2,6683	0,00752839741756287
37	2,8675	0,0189296944860009
120	3,8029	0,0215225979431440
190	4,2699	0,0189360966826788
240	4,3538	0,0173949952166093
290	4,4364	0,0135228949145030
365	4,4933	0,0151127078776087
380	4,5284	0,0136862387569826
430	4,5451	0,0125926866702762
470	4,5729	0,0130496333010905
520	4,5957	0,0123300568948527
600	4,6205	0,0125025249975006
640	4,659	0,0104929028443519
700	4,663	0,00979589689408744
960	4,7088	0,00987599886266444
1500	4,7795	0,00845367650579616
2100	4,8234	0,00713789149185498

Tabla A.2: Tabla de datos obtenidos para el Sensor Fotoresistor KEYES KY-018

## B. Códigos

A continuación se muestran los códigos utilizados para realizar todas las pruebas. Los programas utilizados han sido el entorno de programación de ARDUINO y MATLAB. Se han eliminado los acentos y alguna expresión como el de grado (<sup>o</sup>), debido a incompatibilidades a la hora de generar el código en el editor de texto utilizado en la redacción de este documento (LaTeX), pero en los programas (ARDUINO Y MATLAB) no hay ningún inconveniente en su uso.

### B.1. Código de MATLAB

El siguiente código de MATLAB ha sido creado para la lectura y almacenamiento de datos enviados por puerto serie al pc. Requiere que dichos datos sean enviados en un orden conocido para su correcto almacenamiento.

```
%Aseguro que no haya otro programa leyendo del puerto
serie
clc;

if ~isempty(instrfind)
    fclose(instrfind);
    delete(instrfind);
end

% Establezco el puerto USB de donde leer los datos
s1 = serial('COM3');

%Frecuencia de Muestreo
set(s1, 'BaudRate', 9600);
set(s1, 'Terminator', 'CR');
set(s1, 'FlowControl', 'software');
```



```

% Comienzo a leer del puerto serie y a almacenar los datos
    en el Buffer
fopen(s1)

% Creo un vector donde se guardaran los valores de la
    variable a medir
Variable1 = [];
% Creo un segundo vector para otra variable
Variable2 = [];

% Se han de crear tantos vectores como variables se deseen
    medir.

% Para el paso de lectura se tendra en cuenta el orden de
    envio
% de los datos por el puerto serie, que se iran acumulando
    en el buffer en
% dicho orden. Pongamos el ejemplo de que medimos
    temperatura y resistencia.
% Si queremos que se guarden en ese orden, debemos
    programar en Arduino que
% el primero dato que se envíe por el puerto serie sea la
    temperatura, y el
% segundo dato la resistencia.
% Si observamos esto por el puerto Serial deberia
    mostrarnos algo asi:
% 28.9    —> primer dato temperatura
% 08111   —> segundo dato resistencia
% 25.4    —> temperatura
% 0101    —> resistencia
%
%
%
% ..     —> temperatura

```

```

%a..    —> resistencia

%Bucle while infinito utilizado para la toma de muestras,
%que paramos con las teclas Ctrl+C.
while(1)
%Leemos el primer dato del puerto serie (en este caso un
    tipo float)
%asociado a la primera variable que queremos medir. En
    este ejemplo sera la
%temperatura. Almacenamos ficho dato en un una variable
    temporal (dato1).
dato1 = fscanf(s1, '%f')
%Guardamos dato1 en el vector Variable1.
%dato1 siempre valdra el valor de la lectura actual y
    Variable1 tendra de
%amano un vector 1xN donde N es el numero de lecturas
    tomadas
Variable1 = [Variable1 dato1];

%Ahora leemos el siguiente dato disponible en el puerto
    serie. Asumimos que
%es el dato correspondiente a la segunda variable a medir.
    (en este ejemplo
%seria la temperatura) Guardamos el dato en la variable
    temporal dato2.
dato2 = fscanf(s1, '%f')

%Almacenamos el valor de dato2 en un vector (Variable2).
    dato2 siempre
%valdra el valor acutal de la medida y Variable2 sera el
    vector 1xN que
%contiene todas las medidas tomadas para esa variable
Variable2 = [Variable2 dato2];

```

---

```

%Tras recoger este par de datos y almacenarlos en su
    vector
%correspondiente, se repite el proceso tantas veces como
    muestras se desee.
%Como vemos, si el orden de envio por el puerto serie es:
    primer dato
%temperatura y segundo resistencia, la temperatura se
    guardara en Variable1
%y la resistencia en Variable2.
%Si deseamos medir mas variables, solo hay que realizar
    una simple
%modificacion y reproducir parte del codigo.

%Como paso final establecemos un periodo de pausa antes de
    volver a
%ejecutar el bucle while (0.1s)
pause(0.1)
end

```

## B.2. Códigos de ARDUINO

A continuación se muestran todos los códigos de Arduino utilizados para cada sensor, incluyendo las modificaciones realizadas sobre los mismos.

### B.2.1. Código de Arduino para el Sensor de Temperatura KEYES KY-001

```

1 #include <Wire.h>
2 #include <OneWire.h>
3 #include <DallasTemperature.h>
4 #define TEMPERATURE_PRECISION 12
5
6
7 int tim = 250; //the value of delay time

```

```
8
9 // Data wire is plugged into port 2 on the Arduino
10 #define ONE_WIRE_BUS 2
11
12 // Setup a oneWire instance to communicate with any
    OneWire devices (not just Maxim/Dallas temperature ICs
    )
13 OneWire oneWire(ONE_WIRE_BUS);
14
15 // Pass our oneWire reference to Dallas Temperature.
16 DallasTemperature sensors(&oneWire);
17
18 void setup(void)
19 {
20
21   // start serial port
22   Serial.begin(9600);
23   //Serial.println("Dallas Temperature IC Control Library
    Demo");
24
25
26   // Start up the library
27   sensors.begin();
28   //sensors.setResolution(TEMPERATURE_PRECISION);
29   // Serial.println(sensors.getResolution());
30
31
32 }
33
34 void loop(void)
35 {
36   // call sensors.requestTemperatures() to issue a global
    temperature
37   // request to all devices on the bus
38
```

```
39 sensors.requestTemperatures(); // Send the command to
    get temperatures
40
41
42 Serial.println(sensors.getTempCByIndex(0));
43
44 delay(100); //wait for 100 milliseconds
```

### B.2.2. Código de Arduino para el Sensor de Temperatura KY-013

```
1
2 #include <math.h>
3
4 int sensorPin = A5; // pin de entrada analogica
5
6 double Thermistor(int RawADC) {
7   double ntcc;
8   ntcc = ((10230000/RawADC)-10000); // valor del
    termistor NTC
9
10 return ntcc;
11 }
12
13 double Temperatura(int dato){
14   double temp =
15 }
16 void setup() {
17   Serial.begin(9600);
18 }
19
20 void loop() {
21   int Vout=analogRead(sensorPin); // Lectura del pin
    analogico
22   double NTC = Thermistor(Vout); // Obtencion del valor
```

```

        NTC
23 float LogRes = log(NTC);
24 float Temp = 1 / (0.0005089218645 + (0.0002484818972*
        LogRes) + (-0.00000001313142875 *(pow(LogRes,3))));
25 Temp = Temp -273.3;
26 float Vout_convertido = Vout*0.00489;
27 Serial.println(Temp); //Valor de la temperatura
28 Serial.println(Vout); // Valor de Vout pasado a digital
        (CAD de 10 bits)
29 Serial.println(NTC); // Valor de la NTC
30 Serial.println(Vout_convertido) // Voltaje analogico
        Vout en voltios.
31
32 delay(500);
33 }

```

### B.2.3. Código de Arduino para el Sensor de Temperatura KEYES KY-028

```

1
2 #include <math.h>
3
4 int sensorPin = A5; // pin de entrada analogica
5
6 double Thermistor(int RawADC) {
7     double ntcc;
8     ntcc = ((10230000/RawADC)-10000); // valor del
        termistor NTC
9
10 return ntcc;
11 }
12
13 double Temperatura(int dato){
14     double temp =
15 }

```

```
16 void setup() {
17   Serial.begin(9600);
18 }
19
20 void loop() {
21   int Vout=analogRead(sensorPin); // Lectura del pin
        analogico
22   double NTC = Thermistor(Vout); // Obtencion del valor
        NTC
23   float LogRes = log(NTC);
24   float Temp = 1 / (0.0007394932093 + (0.0002366015369*
        LogRes) + (0.00000004160709595*(pow(LogRes,3))));
25   Temp = Temp -273.3;
26   float Vout_convertido = Vout*0.00489;
27   Serial.println(Temp); //Valor de la temperatura
28   Serial.println(Vout); // Valor de Vout pasado a digital
        (CAD de 10 bits)
29   Serial.println(NTC); // Valor de la NTC
30   Serial.println(Vout_convertido) // Voltaje analogico
        Vout en voltios.
31
32   delay(500);
33 }
```

#### B.2.4. Código de Arduino para el Sensor Fotorresistor KE-YES KY-018

```
1 #include <math.h>
2
3 int sensorPin = A5; // pin de entrada analogica
4 int tim = 250; //the value of delay time
5
6
7 double LDR(int RawADC) {
8   double ldr;
```

```
9   ldr = ((10230000/RawADC)-10000); // valor del
      termistor NTC
10
11 return ldr;
12 }
13 void setup() {
14   Serial.begin(9600);
15
16 }
17
18 void loop() {
19   int Vout=analogRead(sensorPin); // Lectura del pin
      analogico
20   double FOTORESISTOR = LDR(Vout); // Obtencion del
      valor del LDR
21 //Serial.println(Vout); // Valor de Vout pasado a
      digital (CAD de 10 bits)
22 float Vout_convertido = Vout*0.00489; Valor analogico de
      Vout
23 float termino_exp1 = exp(Vout_convertido*0.7642);
24 float termino_exp2 = exp(Vout_convertido*7.702);
25 float conjunto1 = (6.036*termino_exp1);
26 float conjunto2 = (0.0000000000001332*termino_exp2);
27 float luxes = (conjunto1+conjunto2);
28   Serial.println(FOTORESISTOR);
29 //Serial.println(Vout);
30   Serial.println(Vout_convertido);
31   Serial.println(luxes);
32
33 delay(100); //wait for 100 milliseconds
34 }
```

### B.2.5. Código de Arduino para el Sensor de Ultrasonidos HC-SR04



```
1 const int trigPin = 9;
2 const int echoPin = 10;
3 // defines variables
4 long duration;
5 float distance;
6 float soundSpeed;
7 float tempAir = 26.8;
8 void setup() {
9   pinMode(trigPin, OUTPUT); // Sets the trigPin as an
   Output
10  pinMode(echoPin, INPUT); // Sets the echoPin as an Input
11  Serial.begin(9600); // Starts the serial communication
12 }
13 void loop() {
14 // Clears the trigPin
15 digitalWrite(trigPin, LOW);
16 delayMicroseconds(2);
17 // Sets the trigPin on HIGH state for 10 micro seconds
18 digitalWrite(trigPin, HIGH);
19 delayMicroseconds(10);
20 digitalWrite(trigPin, LOW);
21 // Reads the echoPin, returns the sound wave travel time
   in microseconds
22 duration = pulseIn(echoPin, HIGH);
23 // Calculating the distance
24 soundSpeed = 331.3 + (0.606 * tempAir); // m/s
25 distance = duration / 20000.0 * soundSpeed; // converts
   the time into a distance (cm)
26 // Prints the distance on the Serial Monitor;
27 Serial.println(distance);
28 delay(100);
29 }
```

## B.2.6. Código de Arduino para el Sensor de Humedad KEYES KY-015

```
1 int DHpin = 8; // input/output pin
2 byte dat[5];
3
4 byte read_data()
5 {
6   byte i = 0;
7   byte result = 0;
8   for (i = 0; i < 8; i++) {
9     while (digitalRead(DHpin) == LOW); // wait 50us
10    delayMicroseconds(30); //The duration of the high
        level is judged to determine whether the data is
        '0' or '1'
11    if (digitalRead(DHpin) == HIGH)
12        result |= (1 << (8 - i)); //High in the former,
        low in the post
13    while (digitalRead(DHpin) == HIGH); //Data '1',
        waiting for the next bit of reception
14    }
15    return result;
16 }
17
18 void start_test()
19 {
20    digitalWrite(DHpin, LOW); //Pull down the bus to send
        the start signal
21    delay(30); //The delay is greater than 18 ms so that
        DHT 11 can detect the start signal
22    digitalWrite(DHpin, HIGH);
23    delayMicroseconds(40); //Wait for DHT11 to respond
24    pinMode(DHpin, INPUT);
25    while(digitalRead(DHpin) == HIGH);
26    delayMicroseconds(80); //The DHT11 responds by pulling
```

```
        the bus low for 80us;
27
28  if(digitalRead(DHpin) == LOW)
29      delayMicroseconds(80); //DHT11 pulled up after the
        bus 80us to start sending data;
30  for(int i = 0; i < 5; i++) //Receiving temperature and
        humidity data, check bits are not considered;
31      dat[i] = read_data();
32  pinMode(DHpin, OUTPUT);
33  digitalWrite(DHpin, HIGH); //After the completion of a
        release of data bus, waiting for the host to start
        the next signal
34 }
35
36 void setup()
37 {
38     Serial.begin(9600);
39     pinMode(DHpin, OUTPUT);
40 }
41
42
43 void loop()
44 {
45     start_test();
46     // Serial.print("Humidity = ");
47     Serial.println(dat[0], DEC); //Displays the integer
        bits of humidity;
48     //Serial.println(dat[1], DEC); //Displays the decimal
        places of the humidity;
49     //Serial.println('%');
50     // Serial.print("Temperature = ");
51     //Serial.print(dat[2], DEC); //Displays the integer
        bits of temperature;
52     //Serial.print('.');
53     //Serial.print(dat[3], DEC); //Displays the decimal
```

```
        places of the temperature;
54 //Serial.println('C');
55
56 //byte checksum = dat[0] + dat[1] + dat[2] + dat[3];
57 //if (dat[4] != checksum)
58     //Serial.println("-- Checksum Error!");
59 // else
60     // Serial.println("-- OK");
61
62     delay(1000);
63 }
```

### B.2.7. Código de Arduino para el Sensor de Humedad KEYES KY-035

```
1 #include <math.h>
2 int sensorPin = A5; // pin de entrada analogica
3
4 void setup() {
5     // put your setup code here, to run once:
6     Serial.begin(9600);
7 }
8
9 void loop() {
10
11
12 int Vout=analogRead(sensorPin);
13 float Vout_convertido = Vout*0.00489;
14
15 float V_modificado = Vout_convertido-0.092;
16 float terminol = V_modificado*66.67;
17 float campo_magnetico = terminol-166.7;
18 Serial.println(V_modificado);
19 Serial.println(campo_magnetico);
20
```

```
21 delay(100); //wait for 100 milliseconds  
22 }
```

## C. Hoja de especificaciones (Datashheet) de los sensores estudiados

Datashheet que incluye este anexo:

- C.1 Datashheet del Sensor de Temperatura DS18B20 (componente principal del sensor KEYES KY-01).
- C.2 Datashheet de los termistores NTC presentes en los Sensores de Temperatura KEYES KY-013 y KY-028.
- C.3 Datashheet del Sensor de Ultrasonidos HC-SR04.
- C.4 Datashheet de la resistencia fotodependiente presente en el Sensor KEYES KY-018.
- C.5 Datashheet del Sensor de Humedad DHT11 (componente principal del sensor KEYES KY-015).
- C.6 Datashheet del Sensor de Campo Magnético (componente principal del sensor KEYES KY-035).

## **C.1. Datasheet del Sensor de Temperatura KE- YES KY-001 (DS18B20)**

# DS18B20

# Programmable Resolution 1-Wire Digital Thermometer

## General Description

The DS18B20 digital thermometer provides 9-bit to 12-bit Celsius temperature measurements and has an alarm function with nonvolatile user-programmable upper and lower trigger points. The DS18B20 communicates over a 1-Wire bus that by definition requires only one data line (and ground) for communication with a central microprocessor. In addition, the DS18B20 can derive power directly from the data line ("parasite power"), eliminating the need for an external power supply.

Each DS18B20 has a unique 64-bit serial code, which allows multiple DS18B20s to function on the same 1-Wire bus. Thus, it is simple to use one microprocessor to control many DS18B20s distributed over a large area. Applications that can benefit from this feature include HVAC environmental controls, temperature monitoring systems inside buildings, equipment, or machinery, and process monitoring and control systems.

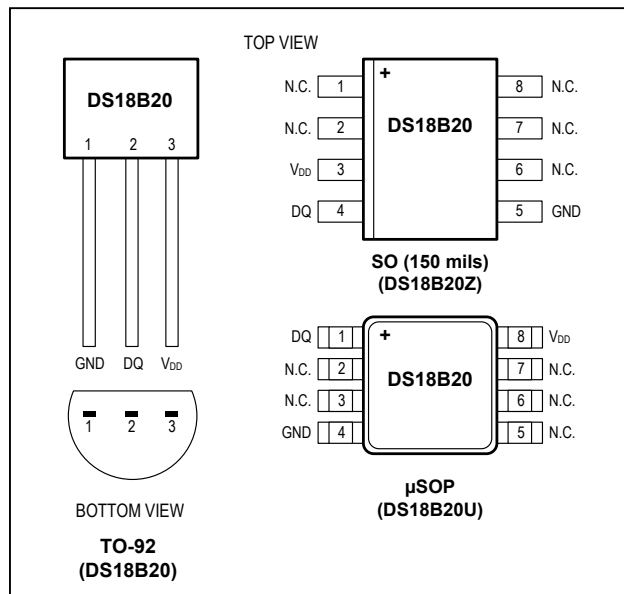
## Applications

- Thermostatic Controls
- Industrial Systems
- Consumer Products
- Thermometers
- Thermally Sensitive Systems

## Benefits and Features

- Unique 1-Wire® Interface Requires Only One Port Pin for Communication
- Reduce Component Count with Integrated Temperature Sensor and EEPROM
  - Measures Temperatures from -55°C to +125°C (-67°F to +257°F)
  - ±0.5°C Accuracy from -10°C to +85°C
  - Programmable Resolution from 9 Bits to 12 Bits
  - No External Components Required
- Parasitic Power Mode Requires Only 2 Pins for Operation (DQ and GND)
- Simplifies Distributed Temperature-Sensing Applications with Multidrop Capability
  - Each Device Has a Unique 64-Bit Serial Code Stored in On-Board ROM
- Flexible User-Definable Nonvolatile (NV) Alarm Settings with Alarm Search Command Identifies Devices with Temperatures Outside Programmed Limits
- Available in 8-Pin SO (150 mils), 8-Pin μSOP, and 3-Pin TO-92 Packages

## Pin Configurations



Ordering Information appears at end of data sheet.

1-Wire is a registered trademark of Maxim Integrated Products, Inc.





**Absolute Maximum Ratings**

Voltage Range on Any Pin Relative to Ground .....-0.5V to +6.0V      Storage Temperature Range ..... -55°C to +125°C  
 Operating Temperature Range..... -55°C to +125°C      Solder Temperature..... Refer to the IPC/JEDEC J-STD-020 Specification.

*These are stress ratings only and functional operation of the device at these or any other conditions above those indicated in the operation sections of this specification is not implied. Exposure to absolute maximum rating conditions for extended periods of time may affect reliability.*

**DC Electrical Characteristics**

(-55°C to +125°C; V<sub>DD</sub> = 3.0V to 5.5V)

PARAMETER	SYMBOL	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
Supply Voltage	V <sub>DD</sub>	Local power (Note 1)	+3.0		+5.5	V
Pullup Supply Voltage	V <sub>PU</sub>	Parasite power	+3.0		+5.5	V
		Local power	+3.0		V <sub>DD</sub>	
Thermometer Error	t <sub>ERR</sub>	-10°C to +85°C			±0.5	°C
		-55°C to +125°C			±2	
Input Logic-Low	V <sub>IL</sub>	(Notes 1, 4, 5)	-0.3		+0.8	V
Input Logic-High	V <sub>IH</sub>	Local power	+2.2		The lower of 5.5 or V <sub>DD</sub> + 0.3	V
		Parasite power	+3.0			
Sink Current	I <sub>L</sub>	V <sub>I/O</sub> = 0.4V	4.0			mA
Standby Current	I <sub>DDS</sub>	(Notes 7, 8)		750	1000	nA
Active Current	I <sub>DD</sub>	V <sub>DD</sub> = 5V (Note 9)		1	1.5	mA
DQ Input Current	I <sub>DQ</sub>	(Note 10)		5		µA
Drift		(Note 11)		±0.2		°C

- Note 1:** All voltages are referenced to ground.
- Note 2:** The Pullup Supply Voltage specification assumes that the pullup device is ideal, and therefore the high level of the pullup is equal to V<sub>PU</sub>. In order to meet the V<sub>IH</sub> spec of the DS18B20, the actual supply rail for the strong pullup transistor must include margin for the voltage drop across the transistor when it is turned on; thus: V<sub>PU\_ACTUAL</sub> = V<sub>PU\_IDEAL</sub> + V<sub>TRANSISTOR</sub>.
- Note 3:** See typical performance curve in [Figure 1](#).
- Note 4:** Logic-low voltages are specified at a sink current of 4mA.
- Note 5:** To guarantee a presence pulse under low voltage parasite power conditions, V<sub>ILMAX</sub> may have to be reduced to as low as 0.5V.
- Note 6:** Logic-high voltages are specified at a source current of 1mA.
- Note 7:** Standby current specified up to +70°C. Standby current typically is 3µA at +125°C.
- Note 8:** To minimize I<sub>DDs</sub>, DQ should be within the following ranges: GND ≤ DQ ≤ GND + 0.3V or V<sub>DD</sub> - 0.3V ≤ DQ ≤ V<sub>DD</sub>.
- Note 9:** Active current refers to supply current during active temperature conversions or EEPROM writes.
- Note 10:** DQ line is high ("high-Z" state).
- Note 11:** Drift data is based on a 1000-hour stress test at +125°C with V<sub>DD</sub> = 5.5V.

**AC Electrical Characteristics–NV Memory**

(-55°C to +125°C; V<sub>DD</sub> = 3.0V to 5.5V)

PARAMETER	SYMBOL	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
NV Write Cycle Time	t <sub>WR</sub>			2	10	ms
EEPROM Writes	N <sub>EEWR</sub>	-55°C to +55°C	50k			writes
EEPROM Data Retention	t <sub>EEDR</sub>	-55°C to +55°C	10			years

**AC Electrical Characteristics**

(-55°C to +125°C; V<sub>DD</sub> = 3.0V to 5.5V)

PARAMETER	SYMBOL	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
Temperature Conversion Time	t <sub>CONV</sub>	9-bit resolution			93.75	ms
		10-bit resolution			187.5	
		11-bit resolution		(Note 12)	375	
		12-bit resolution			750	
Time to Strong Pullup On	t <sub>SPON</sub>	Start convert T command issued			10	µs
Time Slot	t <sub>SLOT</sub>	(Note 12)	60		120	µs
Recovery Time	t <sub>REC</sub>	(Note 12)	1			µs
Write 0 Low Time	t <sub>LOW0</sub>	(Note 12)	60		120	µs
Write 1 Low Time	t <sub>LOW1</sub>	(Note 12)	1		15	µs
Read Data Valid	t <sub>RDV</sub>	(Note 12)			15	µs
Reset Time High	t <sub>RSTH</sub>	(Note 12)	480			µs
Reset Time Low	t <sub>RSTL</sub>	(Notes 12, 13)	480			µs
Presence-Detect High	t <sub>PDHIGH</sub>	(Note 12)	15		60	µs
Presence-Detect Low	t <sub>PDLOW</sub>	(Note 12)	60		240	µs
Capacitance	C <sub>IN/OUT</sub>				25	pF

**Note 12:** See the timing diagrams in [Figure 2](#).

**Note 13:** Under parasite power, if t<sub>RSTL</sub> > 960µs, a power-on reset can occur.

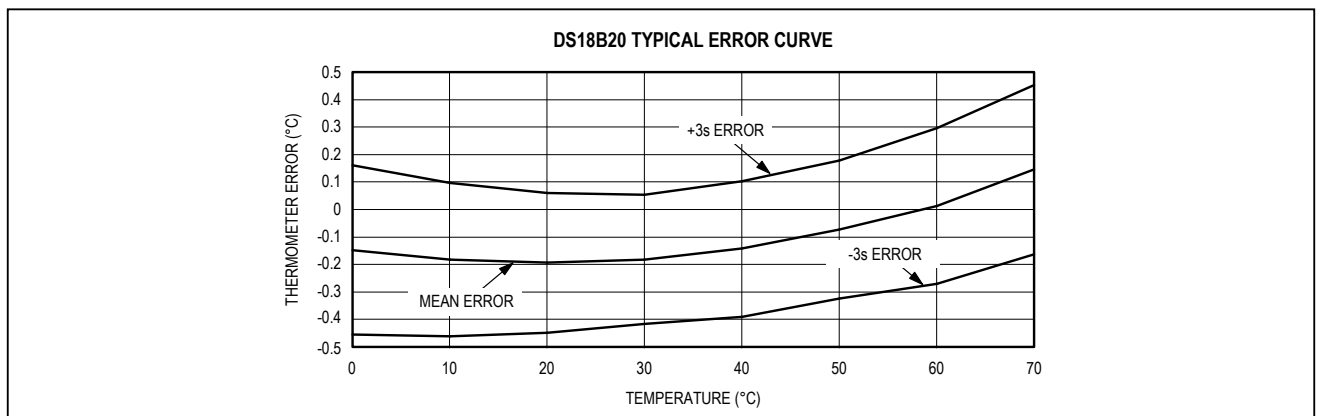


Figure 1. Typical Performance Curve

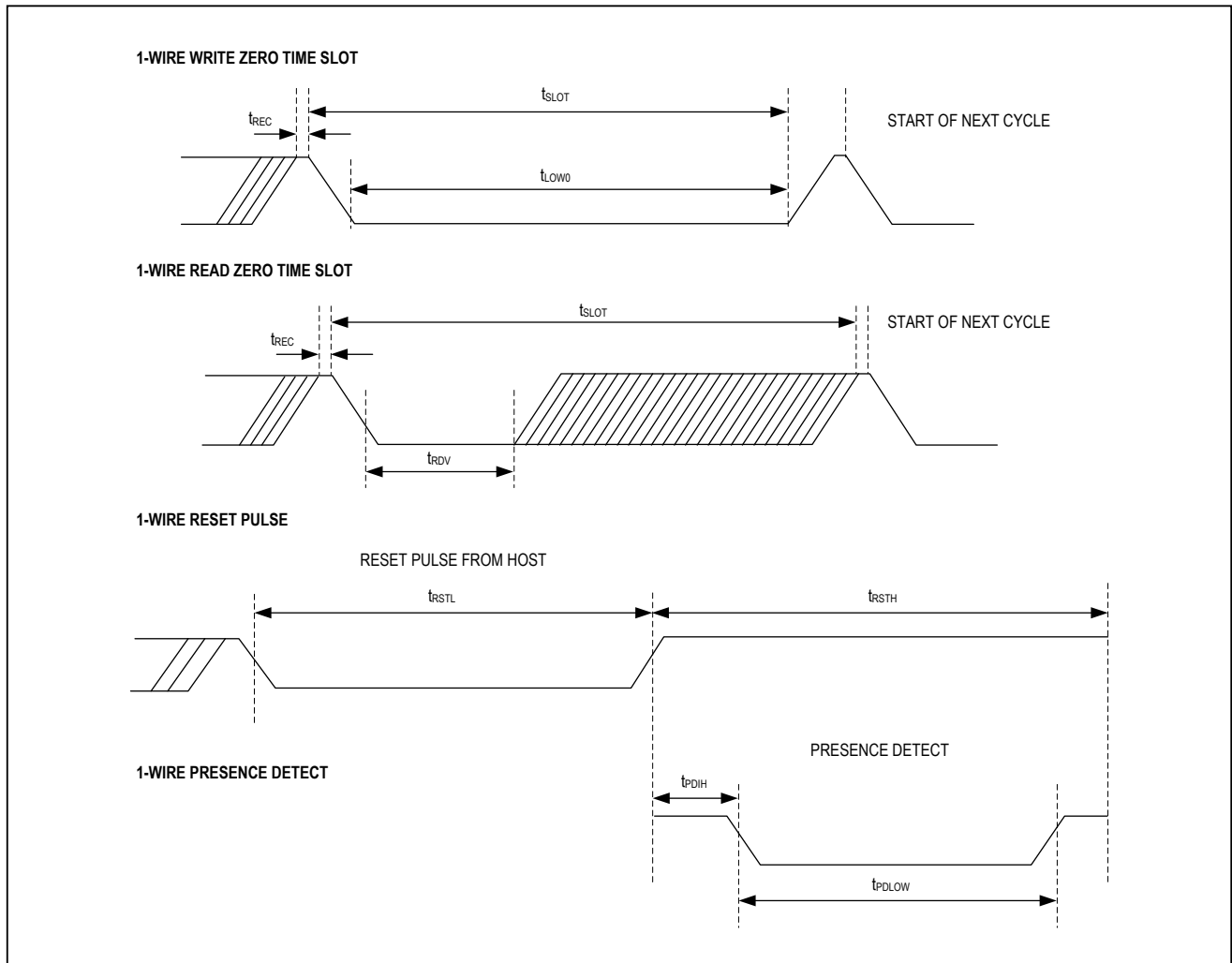


Figure 2. Timing Diagrams

### Pin Description

PIN			NAME	FUNCTION
SO	$\mu$ SOP	TO-92		
1, 2, 6, 7, 8	2, 3, 5, 6, 7	—	N.C.	No Connection
3	8	3	$V_{DD}$	Optional $V_{DD}$ . $V_{DD}$ must be grounded for operation in parasite power mode.
4	1	2	DQ	Data Input/Output. Open-drain 1-Wire interface pin. Also provides power to the device when used in parasite power mode (see the <i>Powering the DS18B20</i> section.)
5	4	1	GND	Ground

**Overview**

Figure 3 shows a block diagram of the DS18B20, and pin descriptions are given in the *Pin Description* table. The 64-bit ROM stores the device’s unique serial code. The scratchpad memory contains the 2-byte temperature register that stores the digital output from the temperature sensor. In addition, the scratchpad provides access to the 1-byte upper and lower alarm trigger registers ( $T_H$  and  $T_L$ ) and the 1-byte configuration register. The configuration register allows the user to set the resolution of the temperature-to-digital conversion to 9, 10, 11, or 12 bits. The  $T_H$ ,  $T_L$ , and configuration registers are nonvolatile (EEPROM), so they will retain data when the device is powered down.

The DS18B20 uses Maxim’s exclusive 1-Wire bus protocol that implements bus communication using one control signal. The control line requires a weak pullup resistor since all devices are linked to the bus via a 3-state or open-drain port (the DQ pin in the case of the DS18B20). In this bus system, the microprocessor (the master device) identifies and addresses devices on the bus using each device’s unique 64-bit code. Because each device has a unique code, the number of devices that can be addressed on one bus is virtually unlimited. The 1-Wire bus protocol, including detailed explanations of the commands and “time slots,” is covered in the [1-Wire Bus System](#) section.

Another feature of the DS18B20 is the ability to operate without an external power supply. Power is instead supplied through the 1-Wire pullup resistor through the

DQ pin when the bus is high. The high bus signal also charges an internal capacitor ( $C_{PP}$ ), which then supplies power to the device when the bus is low. This method of deriving power from the 1-Wire bus is referred to as “parasite power.” As an alternative, the DS18B20 may also be powered by an external supply on  $V_{DD}$ .

**Operation—Measuring Temperature**

The core functionality of the DS18B20 is its direct-to-digital temperature sensor. The resolution of the temperature sensor is user-configurable to 9, 10, 11, or 12 bits, corresponding to increments of 0.5°C, 0.25°C, 0.125°C, and 0.0625°C, respectively. The default resolution at power-up is 12-bit. The DS18B20 powers up in a low-power idle state. To initiate a temperature measurement and A-to-D conversion, the master must issue a Convert T [44h] command. Following the conversion, the resulting thermal data is stored in the 2-byte temperature register in the scratchpad memory and the DS18B20 returns to its idle state. If the DS18B20 is powered by an external supply, the master can issue “read time slots” (see the [1-Wire Bus System](#) section) after the Convert T command and the DS18B20 will respond by transmitting 0 while the temperature conversion is in progress and 1 when the conversion is done. If the DS18B20 is powered with parasite power, this notification technique cannot be used since the bus must be pulled high by a strong pullup during the entire temperature conversion. The bus requirements for parasite power are explained in detail in the [Powering the DS18B20](#) section.

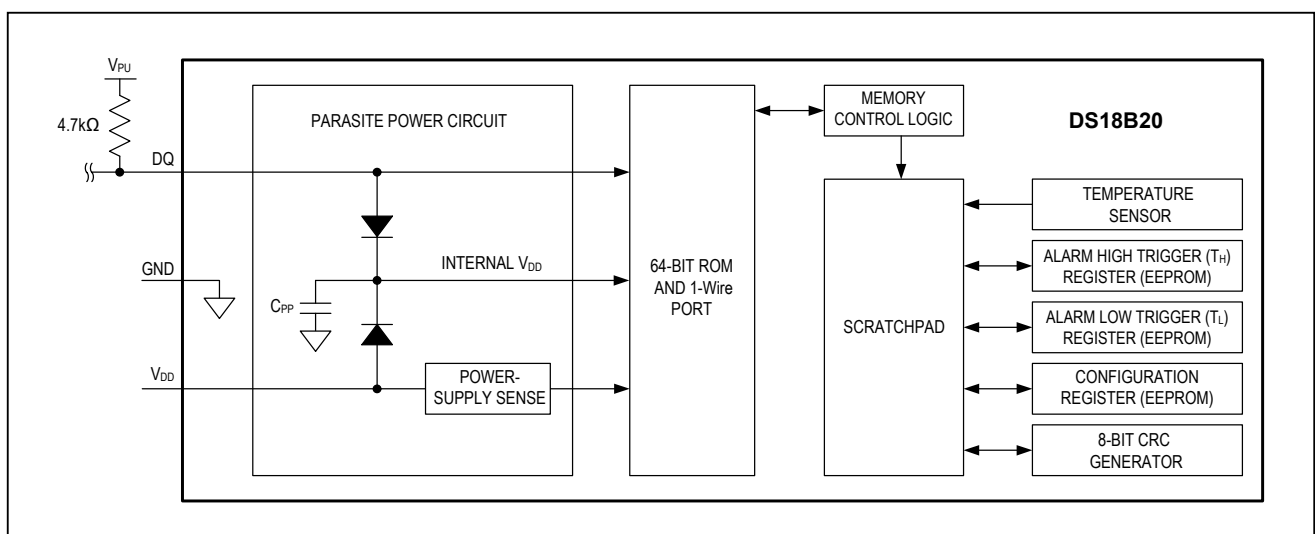


Figure 3. DS18B20 Block Diagram

The DS18B20 output temperature data is calibrated in degrees Celsius; for Fahrenheit applications, a lookup table or conversion routine must be used. The temperature data is stored as a 16-bit sign-extended two's complement number in the temperature register (see Figure 4). The sign bits (S) indicate if the temperature is positive or negative: for positive numbers S = 0 and for negative numbers S = 1. If the DS18B20 is configured for 12-bit resolution, all bits in the temperature register will contain valid data. For 11-bit resolution, bit 0 is undefined. For 10-bit resolution, bits 1 and 0 are undefined, and for 9-bit resolution bits 2, 1, and 0 are undefined. Table 1 gives examples of digital output data and the corresponding temperature reading for 12-bit resolution conversions.

**Operation—Alarm Signaling**

After the DS18B20 performs a temperature conversion, the temperature value is compared to the user-defined two's complement alarm trigger values stored in the 1-byte T<sub>H</sub> and T<sub>L</sub> registers (see Figure 5). The sign bit (S) indicates if the value is positive or negative: for positive numbers S = 0 and for negative numbers S = 1. The T<sub>H</sub> and T<sub>L</sub> registers are nonvolatile (EEPROM) so they will retain data when the device is powered down. T<sub>H</sub> and T<sub>L</sub> can be accessed through bytes 2 and 3 of the scratchpad as explained in the Memory section.

Only bits 11 through 4 of the temperature register are used in the T<sub>H</sub> and T<sub>L</sub> comparison since T<sub>H</sub> and T<sub>L</sub> are 8-bit registers. If the measured temperature is lower than

	<b>BIT 7</b>	<b>BIT 6</b>	<b>BIT 5</b>	<b>BIT 4</b>	<b>BIT 3</b>	<b>BIT 2</b>	<b>BIT 1</b>	<b>BIT 0</b>
<b>LS BYTE</b>	2 <sup>3</sup>	2 <sup>2</sup>	2 <sup>1</sup>	2 <sup>0</sup>	2 <sup>-1</sup>	2 <sup>-2</sup>	2 <sup>-3</sup>	2 <sup>-4</sup>
	<b>BIT 15</b>	<b>BIT 14</b>	<b>BIT 13</b>	<b>BIT 12</b>	<b>BIT 11</b>	<b>BIT 10</b>	<b>BIT 9</b>	<b>BIT 8</b>
<b>MS BYTE</b>	S	S	S	S	S	2 <sup>6</sup>	2 <sup>5</sup>	2 <sup>4</sup>

S = SIGN

Figure 4. Temperature Register Format

**Table 1. Temperature/Data Relationship**

TEMPERATURE (°C)	DIGITAL OUTPUT (BINARY)	DIGITAL OUTPUT (HEX)
+125	0000 0111 1101 0000	07D0h
+85*	0000 0101 0101 0000	0550h
+25.0625	0000 0001 1001 0001	0191h
+10.125	0000 0000 1010 0010	00A2h
+0.5	0000 0000 0000 1000	0008h
0	0000 0000 0000 0000	0000h
-0.5	1111 1111 1111 1000	FFF8h
-10.125	1111 1111 0101 1110	FF5Eh
-25.0625	1111 1110 0110 1111	FE6Fh
-55	1111 1100 1001 0000	FC90h

\*The power-on reset value of the temperature register is +85°C.

<b>BIT 7</b>	<b>BIT 6</b>	<b>BIT 5</b>	<b>BIT 4</b>	<b>BIT 3</b>	<b>BIT 2</b>	<b>BIT 1</b>	<b>BIT 0</b>
S	2 <sup>6</sup>	2 <sup>5</sup>	2 <sup>4</sup>	2 <sup>3</sup>	2 <sup>2</sup>	2 <sup>1</sup>	2 <sup>0</sup>

Figure 5. T<sub>H</sub> and T<sub>L</sub> Register Format

or equal to  $T_L$  or higher than or equal to  $T_H$ , an alarm condition exists and an alarm flag is set inside the DS18B20. This flag is updated after every temperature measurement; therefore, if the alarm condition goes away, the flag will be turned off after the next temperature conversion.

The master device can check the alarm flag status of all DS18B20s on the bus by issuing an Alarm Search [ECh] command. Any DS18B20s with a set alarm flag will respond to the command, so the master can determine exactly which DS18B20s have experienced an alarm condition. If an alarm condition exists and the  $T_H$  or  $T_L$  settings have changed, another temperature conversion should be done to validate the alarm condition.

### Powering the DS18B20

The DS18B20 can be powered by an external supply on the  $V_{DD}$  pin, or it can operate in “parasite power” mode, which allows the DS18B20 to function without a local external supply. Parasite power is very useful for applications that require remote temperature sensing or that are very space constrained. Figure 3 shows the DS18B20’s parasite-power control circuitry, which “steals” power from the 1-Wire bus via the DQ pin when the bus is high. The stolen charge powers the DS18B20 while the bus is high, and some of the charge is stored on the parasite power capacitor ( $C_{PP}$ ) to provide power when the bus is low. When the DS18B20 is used in parasite power mode, the  $V_{DD}$  pin must be connected to ground.

In parasite power mode, the 1-Wire bus and CPP can provide sufficient current to the DS18B20 for most operations as long as the specified timing and voltage requirements are met (see the [DC Electrical Characteristics](#) and [AC Electrical Characteristics](#)). However, when the DS18B20 is performing temperature conversions or copying data from the scratchpad memory to EEPROM, the operating current can be as high as 1.5mA. This current can cause an unacceptable voltage drop across the weak 1-Wire pullup resistor and is more current than can be supplied

by  $C_{PP}$ . To assure that the DS18B20 has sufficient supply current, it is necessary to provide a strong pullup on the 1-Wire bus whenever temperature conversions are taking place or data is being copied from the scratchpad to EEPROM. This can be accomplished by using a MOSFET to pull the bus directly to the rail as shown in Figure 6. The 1-Wire bus must be switched to the strong pullup within 10 $\mu$ s (max) after a Convert T [44h] or Copy Scratchpad [48h] command is issued, and the bus must be held high by the pullup for the duration of the conversion ( $t_{CONV}$ ) or data transfer ( $t_{WR} = 10$ ms). No other activity can take place on the 1-Wire bus while the pullup is enabled.

The DS18B20 can also be powered by the conventional method of connecting an external power supply to the  $V_{DD}$  pin, as shown in Figure 7. The advantage of this method is that the MOSFET pullup is not required, and the 1-Wire bus is free to carry other traffic during the temperature conversion time.

The use of parasite power is not recommended for temperatures above +100°C since the DS18B20 may not be able to sustain communications due to the higher leakage currents that can exist at these temperatures. For applications in which such temperatures are likely, it is strongly recommended that the DS18B20 be powered by an external power supply.

In some situations the bus master may not know whether the DS18B20s on the bus are parasite powered or powered by external supplies. The master needs this information to determine if the strong bus pullup should be used during temperature conversions. To get this information, the master can issue a Skip ROM [CCh] command followed by a Read Power Supply [B4h] command followed by a “read time slot”. During the read time slot, parasite powered DS18B20s will pull the bus low, and externally powered DS18B20s will let the bus remain high. If the bus is pulled low, the master knows that it must supply the strong pullup on the 1-Wire bus during temperature conversions.

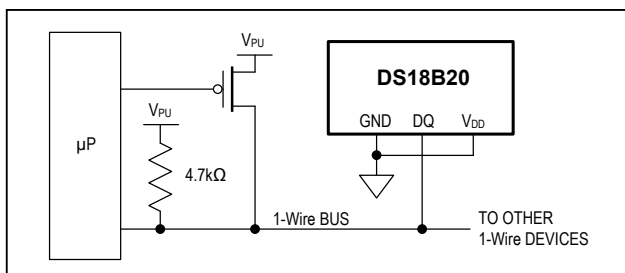


Figure 6. Supplying the Parasite-Powered DS18B20 During Temperature Conversions

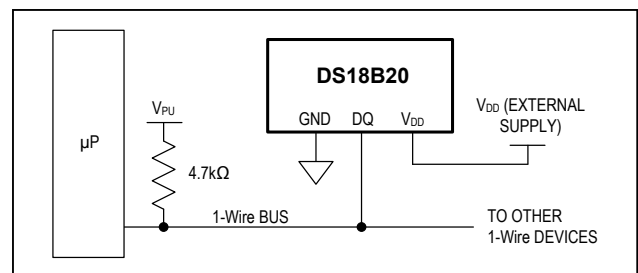


Figure 7. Powering the DS18B20 with an External Supply





### Configuration Register

Byte 4 of the scratchpad memory contains the configuration register, which is organized as illustrated in Figure 10. The user can set the conversion resolution of the DS18B20 using the R0 and R1 bits in this register as shown in Table 2. The power-up default of these bits is R0 = 1 and R1 = 1 (12-bit resolution). Note that there is a direct tradeoff between resolution and conversion time. Bit 7 and bits 0 to 4 in the configuration register are reserved for internal use by the device and cannot be overwritten.

### CRC Generation

CRC bytes are provided as part of the DS18B20's 64-bit ROM code and in the 9th byte of the scratchpad memory. The ROM code CRC is calculated from the first 56 bits of the ROM code and is contained in the most significant byte of the ROM. The scratchpad CRC is calculated from the data stored in the scratchpad, and therefore it changes when the data in the scratchpad changes. The CRCs provide the bus master with a method of data validation when data is read from the DS18B20. To verify that data has been read correctly, the bus master must re-calculate the CRC from the received data and then compare this value to either the ROM code CRC (for ROM reads) or to the scratchpad CRC (for scratchpad reads). If the calculated CRC matches the read CRC, the data has been

received error free. The comparison of CRC values and the decision to continue with an operation are determined entirely by the bus master. There is no circuitry inside the DS18B20 that prevents a command sequence from proceeding if the DS18B20 CRC (ROM or scratchpad) does not match the value generated by the bus master.

The equivalent polynomial function of the CRC (ROM or scratchpad) is:

$$CRC = X^8 + X^5 + X^4 + 1$$

The bus master can re-calculate the CRC and compare it to the CRC values from the DS18B20 using the polynomial generator shown in Figure 11. This circuit consists of a shift register and XOR gates, and the shift register bits are initialized to 0. Starting with the least significant bit of the ROM code or the least significant bit of byte 0 in the scratchpad, one bit at a time should be shifted into the shift register. After shifting in the 56th bit from the ROM or the most significant bit of byte 7 from the scratchpad, the polynomial generator will contain the recalculated CRC. Next, the 8-bit ROM code or scratchpad CRC from the DS18B20 must be shifted into the circuit. At this point, if the re-calculated CRC was correct, the shift register will contain all 0s. Additional information about the Maxim 1-Wire cyclic redundancy check is available in *Application Note 27: Understanding and Using Cyclic Redundancy Checks with Maxim iButton Products*.

<b>BIT 7</b>	<b>BIT 6</b>	<b>BIT 5</b>	<b>BIT 4</b>	<b>BIT 3</b>	<b>BIT 2</b>	<b>BIT 1</b>	<b>BIT 0</b>
0	R1	R0	1	1	1	1	1

Figure 10. Configuration Register

Table 2. Thermometer Resolution Configuration

R1	R0	RESOLUTION (BITS)	MAX CONVERSION TIME	
0	0	9	93.75ms	(t <sub>CONV</sub> /8)
0	1	10	187.5ms	(t <sub>CONV</sub> /4)
1	0	11	375ms	(t <sub>CONV</sub> /2)
1	1	12	750ms	(t <sub>CONV</sub> )

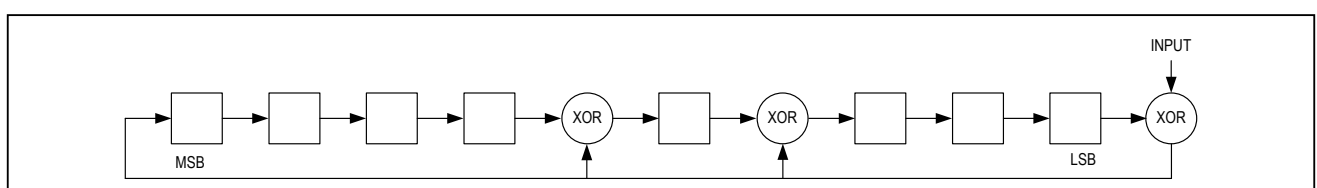


Figure 11. CRC Generator



## 1-Wire Bus System

The 1-Wire bus system uses a single bus master to control one or more slave devices. The DS18B20 is always a slave. When there is only one slave on the bus, the system is referred to as a “single-drop” system; the system is “multidrop” if there are multiple slaves on the bus.

All data and commands are transmitted least significant bit first over the 1-Wire bus.

The following discussion of the 1-Wire bus system is broken down into three topics: hardware configuration, transaction sequence, and 1-Wire signaling (signal types and timing).

## Hardware Configuration

The 1-Wire bus has by definition only a single data line. Each device (master or slave) interfaces to the data line via an open-drain or 3-state port. This allows each device to “release” the data line when the device is not transmitting data so the bus is available for use by another device. The 1-Wire port of the DS18B20 (the DQ pin) is open drain with an internal circuit equivalent to that shown in [Figure 12](#).

The 1-Wire bus requires an external pullup resistor of approximately 5k $\Omega$ ; thus, the idle state for the 1-Wire bus is high. If for any reason a transaction needs to be suspended, the bus MUST be left in the idle state if the transaction is to resume. Infinite recovery time can occur between bits so long as the 1-Wire bus is in the inactive (high) state during the recovery period. If the bus is held low for more than 480 $\mu$ s, all components on the bus will be reset.

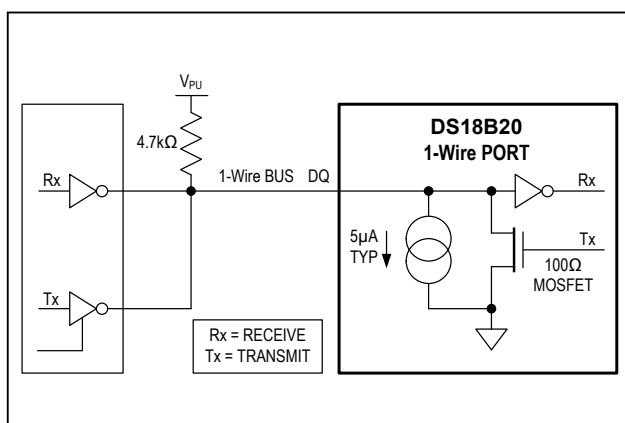


Figure 12. Hardware Configuration

## Transaction Sequence

The transaction sequence for accessing the DS18B20 is as follows:

- Step 1. Initialization
- Step 2. ROM Command (followed by any required data exchange)
- Step 3. DS18B20 Function Command (followed by any required data exchange)

It is very important to follow this sequence every time the DS18B20 is accessed, as the DS18B20 will not respond if any steps in the sequence are missing or out of order. Exceptions to this rule are the Search ROM [F0h] and Alarm Search [ECh] commands. After issuing either of these ROM commands, the master must return to Step 1 in the sequence.

## Initialization

All transactions on the 1-Wire bus begin with an initialization sequence. The initialization sequence consists of a reset pulse transmitted by the bus master followed by presence pulse(s) transmitted by the slave(s). The presence pulse lets the bus master know that slave devices (such as the DS18B20) are on the bus and are ready to operate. Timing for the reset and presence pulses is detailed in the [1-Wire Signaling](#) section.

## ROM Commands

After the bus master has detected a presence pulse, it can issue a ROM command. These commands operate on the unique 64-bit ROM codes of each slave device and allow the master to single out a specific device if many are present on the 1-Wire bus. These commands also allow the master to determine how many and what types of devices are present on the bus or if any device has experienced an alarm condition. There are five ROM commands, and each command is 8 bits long. The master device must issue an appropriate ROM command before issuing a DS18B20 function command. A flowchart for operation of the ROM commands is shown in [Figure 13](#).

## Search Rom [F0h]

When a system is initially powered up, the master must identify the ROM codes of all slave devices on the bus, which allows the master to determine the number of slaves and their device types. The master learns the ROM codes through a process of elimination that requires the master to perform a Search ROM cycle (i.e., Search ROM command followed by data exchange) as many times as necessary to identify all of the slave devices.

If there is only one slave on the bus, the simpler Read ROM [33h] command can be used in place of the Search ROM process. For a detailed explanation of the Search ROM procedure, refer to *Application Note 937: Book of iButton® Standards*. After every Search ROM cycle, the bus master must return to Step 1 (Initialization) in the transaction sequence.

### Read Rom [33h]

This command can only be used when there is one slave on the bus. It allows the bus master to read the slave's 64-bit ROM code without using the Search ROM procedure. If this command is used when there is more than one slave present on the bus, a data collision will occur when all the slaves attempt to respond at the same time.

### Match Rom [55H]

The match ROM command followed by a 64-bit ROM code sequence allows the bus master to address a specific slave device on a multidrop or single-drop bus. Only the slave that exactly matches the 64-bit ROM code sequence will respond to the function command issued by the master; all other slaves on the bus will wait for a reset pulse.

### Skip Rom [CCh]

The master can use this command to address all devices on the bus simultaneously without sending out any ROM code information. For example, the master can make all DS18B20s on the bus perform simultaneous temperature conversions by issuing a Skip ROM command followed by a Convert T [44h] command.

Note that the Read Scratchpad [BEh] command can follow the Skip ROM command only if there is a single slave device on the bus. In this case, time is saved by allowing the master to read from the slave without sending the device's 64-bit ROM code. A Skip ROM command followed by a Read Scratchpad command will cause a data collision on the bus if there is more than one slave since multiple devices will attempt to transmit data simultaneously.

### Alarm Search [ECh]

The operation of this command is identical to the operation of the Search ROM command except that only slaves with a set alarm flag will respond. This command allows the master device to determine if any DS18B20s experienced an alarm condition during the most recent temperature conversion. After every Alarm Search cycle (i.e., Alarm Search command followed by data exchange), the bus

master must return to Step 1 (Initialization) in the transaction sequence. See the [Operation—Alarm Signaling](#) section for an explanation of alarm flag operation.

## DS18B20 Function Commands

After the bus master has used a ROM command to address the DS18B20 with which it wishes to communicate, the master can issue one of the DS18B20 function commands. These commands allow the master to write to and read from the DS18B20's scratchpad memory, initiate temperature conversions and determine the power supply mode. The DS18B20 function commands, which are described below, are summarized in [Table 3](#) and illustrated by the flowchart in [Figure 14](#).

### Convert T [44h]

This command initiates a single temperature conversion. Following the conversion, the resulting thermal data is stored in the 2-byte temperature register in the scratchpad memory and the DS18B20 returns to its low-power idle state. If the device is being used in parasite power mode, within 10 $\mu$ s (max) after this command is issued the master must enable a strong pullup on the 1-Wire bus for the duration of the conversion ( $t_{CONV}$ ) as described in the [Powering the DS18B20](#) section. If the DS18B20 is powered by an external supply, the master can issue read time slots after the Convert T command and the DS18B20 will respond by transmitting a 0 while the temperature conversion is in progress and a 1 when the conversion is done. In parasite power mode this notification technique cannot be used since the bus is pulled high by the strong pullup during the conversion.

### Write Scratchpad [4Eh]

This command allows the master to write 3 bytes of data to the DS18B20's scratchpad. The first data byte is written into the  $T_H$  register (byte 2 of the scratchpad), the second byte is written into the  $T_L$  register (byte 3), and the third byte is written into the configuration register (byte 4). Data must be transmitted least significant bit first. All three bytes MUST be written before the master issues a reset, or the data may be corrupted.

### Read Scratchpad [BEh]

This command allows the master to read the contents of the scratchpad. The data transfer starts with the least significant bit of byte 0 and continues through the scratchpad until the 9th byte (byte 8 – CRC) is read. The master may issue a reset to terminate reading at any time if only part of the scratchpad data is needed.

*iButton is a registered trademark of Maxim Integrated Products, Inc.*

**Copy Scratchpad [48h]**

This command copies the contents of the scratchpad  $T_H$ ,  $T_L$  and configuration registers (bytes 2, 3 and 4) to EEPROM. If the device is being used in parasite power mode, within 10 $\mu$ s (max) after this command is issued the master must enable a strong pullup on the 1-Wire bus for at least 10ms as described in the [Powering the DS18B20](#) section.

**Recall E<sup>2</sup> [B8h]**

This command recalls the alarm trigger values ( $T_H$  and  $T_L$ ) and configuration data from EEPROM and places the data in bytes 2, 3, and 4, respectively, in the scratchpad memory. The master device can issue read time slots

following the Recall E<sup>2</sup> command and the DS18B20 will indicate the status of the recall by transmitting 0 while the recall is in progress and 1 when the recall is done. The recall operation happens automatically at power-up, so valid data is available in the scratchpad as soon as power is applied to the device.

**Read Power Supply [B4h]**

The master device issues this command followed by a read time slot to determine if any DS18B20s on the bus are using parasite power. During the read time slot, parasite powered DS18B20s will pull the bus low, and externally powered DS18B20s will let the bus remain high. See the [Powering the DS18B20](#) section for usage information for this command.

**Table 3. DS18B20 Function Command Set**

COMMAND	DESCRIPTION	PROTOCOL	1-Wire BUS ACTIVITY AFTER COMMAND IS ISSUED	NOTES
<b>TEMPERATURE CONVERSION COMMANDS</b>				
Convert T	Initiates temperature conversion.	44h	DS18B20 transmits conversion status to master (not applicable for parasite-powered DS18B20s).	1
<b>MEMORY COMMANDS</b>				
Read Scratchpad	Reads the entire scratchpad including the CRC byte.	BEh	DS18B20 transmits up to 9 data bytes to master.	2
Write Scratchpad	Writes data into scratchpad bytes 2, 3, and 4 ( $T_H$ , $T_L$ , and configuration registers).	4Eh	Master transmits 3 data bytes to DS18B20.	3
Copy Scratchpad	Copies $T_H$ , $T_L$ , and configuration register data from the scratchpad to EEPROM.	48h	None	1
Recall E <sup>2</sup>	Recalls $T_H$ , $T_L$ , and configuration register data from EEPROM to the scratchpad.	B8h	DS18B20 transmits recall status to master.	
Read Power Supply	Signals DS18B20 power supply mode to the master.	B4h	DS18B20 transmits supply status to master.	

**Note 1:** For parasite-powered DS18B20s, the master must enable a strong pullup on the 1-Wire bus during temperature conversions and copies from the scratchpad to EEPROM. No other bus activity may take place during this time.

**Note 2:** The master can interrupt the transmission of data at any time by issuing a reset.

**Note 3:** All three bytes must be written before a reset is issued.



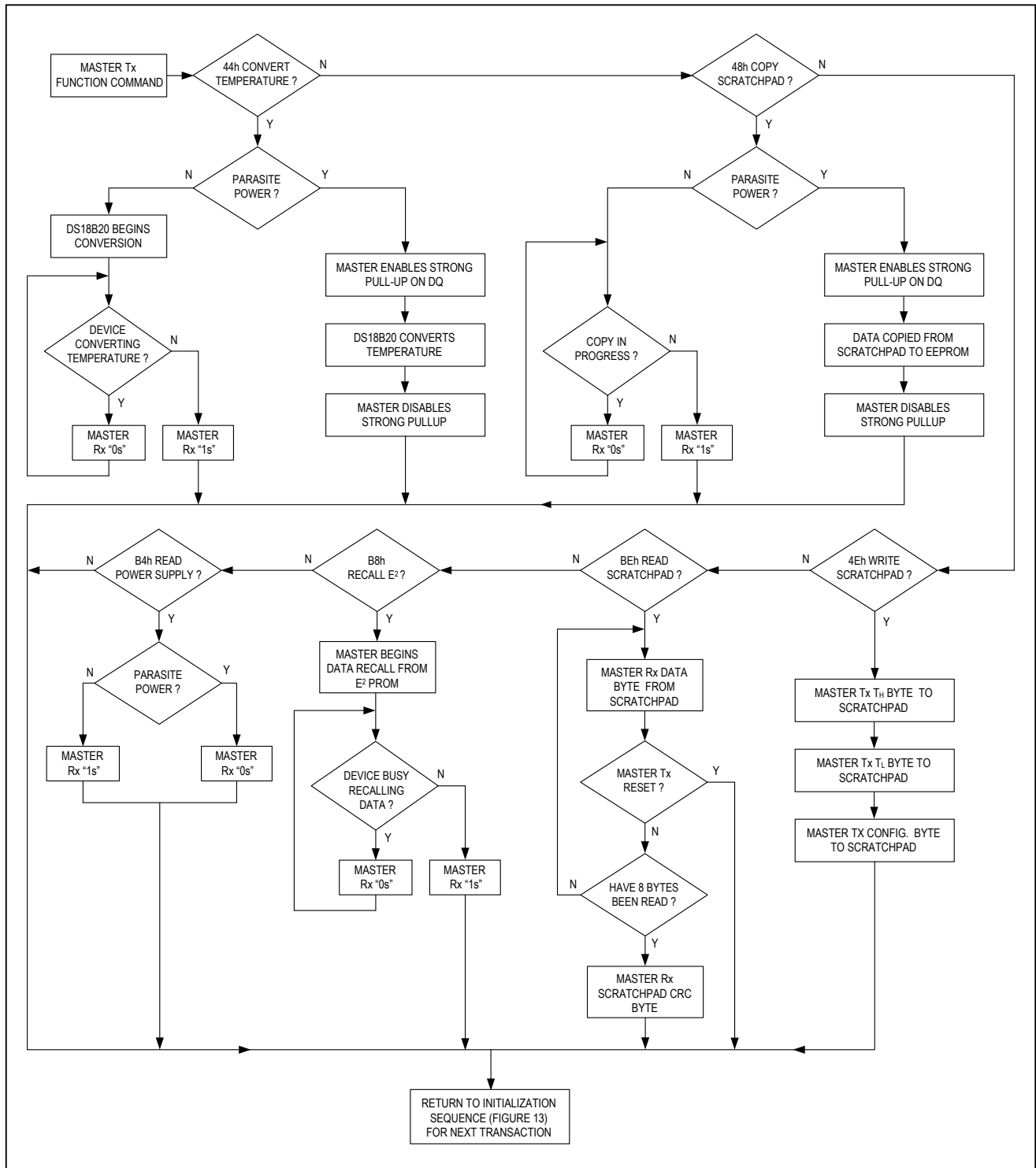


Figure 14. DS18B20 Function Commands Flowchart

### 1-Wire Signaling

The DS18B20 uses a strict 1-Wire communication protocol to ensure data integrity. Several signal types are defined by this protocol: reset pulse, presence pulse, write 0, write 1, read 0, and read 1. The bus master initiates all these signals, with the exception of the presence pulse.

### Initialization Procedure—Reset And Presence Pulses

All communication with the DS18B20 begins with an initialization sequence that consists of a reset pulse from the master followed by a presence pulse from the DS18B20. This is illustrated in Figure 15. When the DS18B20 sends the presence pulse in response to the reset, it is indicating to the master that it is on the bus and ready to operate.

During the initialization sequence the bus master transmits (Tx) the reset pulse by pulling the 1-Wire bus low for a minimum of 480µs. The bus master then releases the bus and goes into receive mode (Rx). When the bus is released, the 5kΩ pullup resistor pulls the 1-Wire bus high. When the DS18B20 detects this rising edge, it waits 15µs to 60µs and then transmits a presence pulse by pulling the 1-Wire bus low for 60µs to 240µs.

### Read/Write Time Slots

The bus master writes data to the DS18B20 during write time slots and reads data from the DS18B20 during read time slots. One bit of data is transmitted over the 1-Wire bus per time slot.

### Write Time Slots

There are two types of write time slots: “Write 1” time slots and “Write 0” time slots. The bus master uses a Write 1 time slot to write a logic 1 to the DS18B20 and a Write 0 time slot to write a logic 0 to the DS18B20. All write time slots must be a minimum of 60µs in duration with a minimum of a 1µs recovery time between individual write slots. Both types of write time slots are initiated by the master pulling the 1-Wire bus low (see Figure 14).

To generate a Write 1 time slot, after pulling the 1-Wire bus low, the bus master must release the 1-Wire bus within 15µs. When the bus is released, the 5kΩ pullup resistor will pull the bus high. To generate a Write 0 time slot, after pulling the 1-Wire bus low, the bus master must continue to hold the bus low for the duration of the time slot (at least 60µs).

The DS18B20 samples the 1-Wire bus during a window that lasts from 15µs to 60µs after the master initiates the write time slot. If the bus is high during the sampling window, a 1 is written to the DS18B20. If the line is low, a 0 is written to the DS18B20.

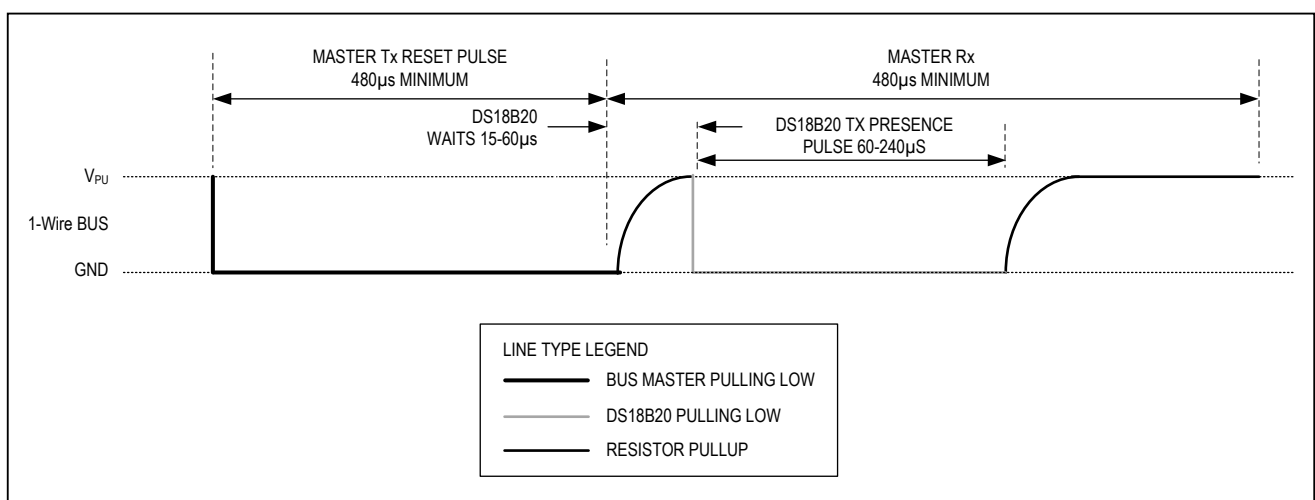


Figure 15. Initialization Timing

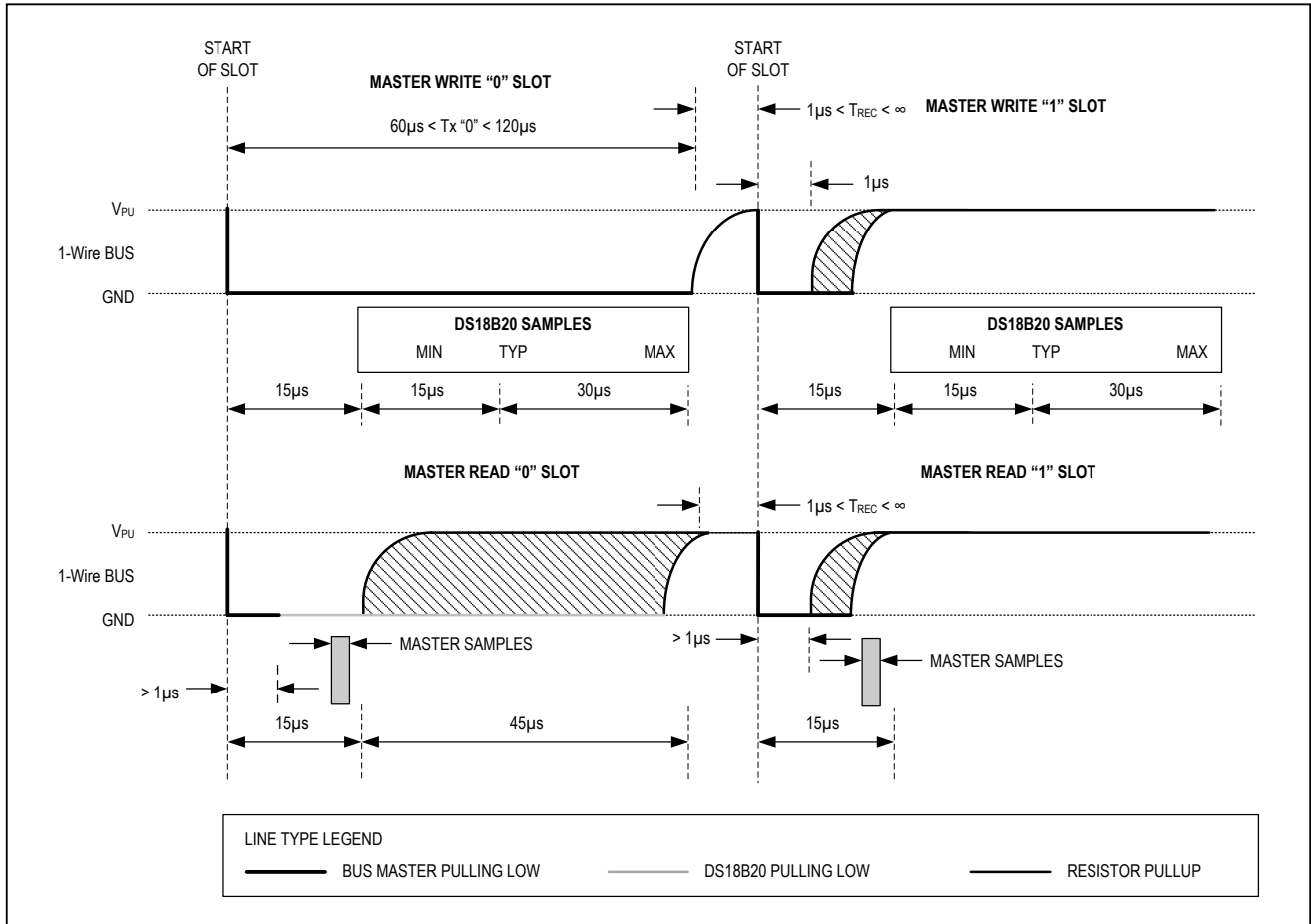


Figure 16. Read/Write Time Slot Timing Diagram

### Read Time Slots

The DS18B20 can only transmit data to the master when the master issues read time slots. Therefore, the master must generate read time slots immediately after issuing a Read Scratchpad [BEh] or Read Power Supply [B4h] command, so that the DS18B20 can provide the requested data. In addition, the master can generate read time slots after issuing Convert T [44h] or Recall E<sup>2</sup> [B8h] commands to find out the status of the operation as explained in the [DS18B20 Function Commands](#) section.

All read time slots must be a minimum of 60µs in duration with a minimum of a 1µs recovery time between slots. A read time slot is initiated by the master device pulling the 1-Wire bus low for a minimum of 1µs and then releasing the bus (see [Figure 16](#)). After the master initiates the

read time slot, the DS18B20 will begin transmitting a 1 or 0 on bus. The DS18B20 transmits a 1 by leaving the bus high and transmits a 0 by pulling the bus low. When transmitting a 0, the DS18B20 will release the bus by the end of the time slot, and the bus will be pulled back to its high idle state by the pullup resistor. Output data from the DS18B20 is valid for 15µs after the falling edge that initiated the read time slot. Therefore, the master must release the bus and then sample the bus state within 15µs from the start of the slot.

[Figure 17](#) illustrates that the sum of  $T_{INIT}$ ,  $T_{RC}$ , and  $T_{SAMPLE}$  must be less than 15µs for a read time slot. [Figure 18](#) shows that system timing margin is maximized by keeping  $T_{INIT}$  and  $T_{RC}$  as short as possible and by locating the master sample time during read time slots towards the end of the 15µs period.

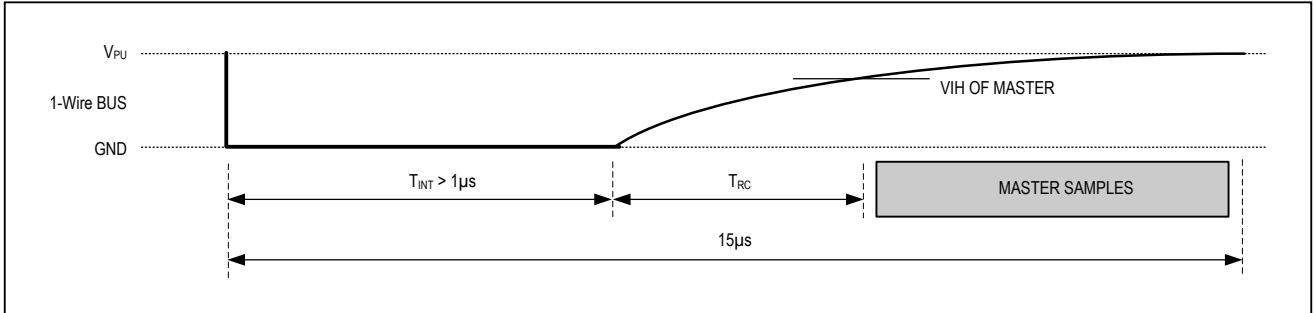


Figure 17. Detailed Master Read 1 Timing

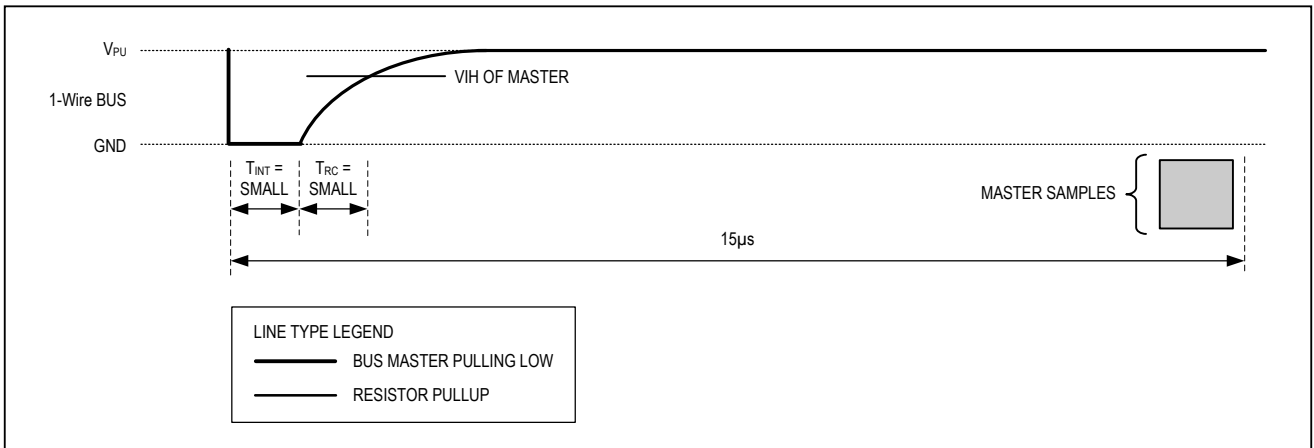


Figure 18. Recommended Master Read 1 Timing

**Related Application Notes**

The following application notes can be applied to the DS18B20 and are available at [www.maximintegrated.com](http://www.maximintegrated.com).

*Application Note 27: Understanding and Using Cyclic Redundancy Checks with Maxim iButton Products*

*Application Note 122: Using Dallas' 1-Wire ICs in 1-Cell Li-Ion Battery Packs with Low-Side N-Channel Safety FETs Master*

*Application Note 126: 1-Wire Communication Through Software*

*Application Note 162: Interfacing the DS18x20/DS1822 1-Wire Temperature Sensor in a Microcontroller Environment*

*Application Note 208: Curve Fitting the Error of a Bandgap-Based Digital Temperature Sensor*

*Application Note 2420: 1-Wire Communication with a Microchip PICmicro Microcontroller*

*Application Note 3754: Single-Wire Serial Bus Carries Isolated Power and Data*

Sample 1-Wire subroutines that can be used in conjunction with *Application Note 74: Reading and Writing iButtons via Serial Interfaces* can be downloaded from the Maxim website.



**DS18B20 Operation Example 1**

In this example there are multiple DS18B20s on the bus and they are using parasite power. The bus master initiates a temperature conversion in a specific DS18B20 and then reads its scratchpad and recalculates the CRC to verify the data.

MASTER MODE	DATA (LSB FIRST)	COMMENTS
Tx	Reset	Master issues reset pulse.
Rx	Presence	DS18B20s respond with presence pulse.
Tx	55h	Master issues Match ROM command.
Tx	64-bit ROM code	Master sends DS18B20 ROM code.
Tx	44h	Master issues Convert T command.
Tx	DQ line held high by strong pullup	Master applies strong pullup to DQ for the duration of the conversion ( $t_{CONV}$ ).
Tx	Reset	Master issues reset pulse.
Rx	Presence	DS18B20s respond with presence pulse.
Tx	55h	Master issues Match ROM command.
Tx	64-bit ROM code	Master sends DS18B20 ROM code.
Tx	BEh	Master issues Read Scratchpad command.
Rx	9 data bytes	Master reads entire scratchpad including CRC. The master then recalculates the CRC of the first eight data bytes from the scratchpad and compares the calculated CRC with the read CRC (byte 9). If they match, the master continues; if not, the read operation is repeated.

**DS18B20 Operation Example 2**

In this example there is only one DS18B20 on the bus and it is using parasite power. The master writes to the TH, TL, and configuration registers in the DS18B20 scratchpad and then reads the scratchpad and recalculates the CRC to verify the data. The master then copies the scratchpad contents to EEPROM.

MASTER MODE	DATA (LSB FIRST)	COMMENTS
Tx	Reset	Master issues reset pulse.
Rx	Presence	DS18B20 responds with presence pulse.
Tx	CCh	Master issues Skip ROM command.
Tx	4Eh	Master issues Write Scratchpad command.
Tx	3 data bytes	Master sends three data bytes to scratchpad ( $T_H$ , $T_L$ , and config).
Tx	Reset	Master issues reset pulse.
Rx	Presence	DS18B20 responds with presence pulse.
Tx	CCh	Master issues Skip ROM command.
Tx	BEh	Master issues Read Scratchpad command.
Rx	9 data bytes	Master reads entire scratchpad including CRC. The master then recalculates the CRC of the first eight data bytes from the scratchpad and compares the calculated CRC with the read CRC (byte 9). If they match, the master continues; if not, the read operation is repeated.
Tx	Reset	Master issues reset pulse.
Rx	Presence	DS18B20 responds with presence pulse.
Tx	CCh	Master issues Skip ROM command.
Tx	48h	Master issues Copy Scratchpad command.
Tx	DQ line held high by strong pullup	Master applies strong pullup to DQ for at least 10ms while copy operation is in progress.

## Ordering Information

PART	TEMP RANGE	PIN-PACKAGE	TOP MARK
DS18B20	-55°C to +125°C	3 TO-92	18B20
DS18B20+	-55°C to +125°C	3 TO-92	18B20
DS18B20/T&R	-55°C to +125°C	3 TO-92 (2000 Piece)	18B20
DS18B20+T&R	-55°C to +125°C	3 TO-92 (2000 Piece)	18B20
DS18B20-SL/T&R	-55°C to +125°C	3 TO-92 (2000 Piece)*	18B20
DS18B20-SL+T&R	-55°C to +125°C	3 TO-92 (2000 Piece)*	18B20
DS18B20U	-55°C to +125°C	8 FSOP	18B20
DS18B20U+	-55°C to +125°C	8 FSOP	18B20
DS18B20U/T&R	-55°C to +125°C	8 FSOP (3000 Piece)	18B20
DS18B20U+T&R	-55°C to +125°C	8 FSOP (3000 Piece)	18B20
DS18B20Z	-55°C to +125°C	8 SO	DS18B20
DS18B20Z+	-55°C to +125°C	8 SO	DS18B20
DS18B20Z/T&R	-55°C to +125°C	8 SO (2500 Piece)	DS18B20
DS18B20Z+T&R	-55°C to +125°C	8 SO (2500 Piece)	DS18B20

+Denotes a lead-free package. A "+" will appear on the top mark of lead-free packages.

T&R = Tape and reel.

\*TO-92 packages in tape and reel can be ordered with straight or formed leads. Choose "SL" for straight leads. Bulk TO-92 orders are straight leads only.

## Revision History

REVISION DATE	DESCRIPTION	PAGES CHANGED
030107	In the Absolute Maximum Ratings section, removed the reflow oven temperature value of +220°C. Reference to JEDEC specification for reflow remains.	19
101207	In the <i>Operation—Alarm Signaling</i> section, added “or equal to” in the description for a TH alarm condition	5
	In the <i>Memory</i> section, removed incorrect text describing memory.	7
	In the <i>Configuration Register</i> section, removed incorrect text describing configuration register.	8
042208	In the <i>Ordering Information</i> table, added TO-92 straight-lead packages and included a note that the TO-92 package in tape and reel can be ordered with either formed or straight leads.	2
1/15	Updated <i>Benefits and Features</i> section	1

For pricing, delivery, and ordering information, please contact Maxim Direct at 1-888-629-4642, or visit Maxim Integrated's website at [www.maximintegrated.com](http://www.maximintegrated.com).

*Maxim Integrated cannot assume responsibility for use of any circuitry other than circuitry entirely embodied in a Maxim Integrated product. No circuit patent licenses are implied. Maxim Integrated reserves the right to change the circuitry and specifications without notice at any time. The parametric values (min and max limits) shown in the Electrical Characteristics table are guaranteed. Other parametric values quoted in this data sheet are provided for guidance.*

## **C.2. Datasheet de los Termistores NTC utilizados en los Sensores de Temperatura KEYES KY-013 y KEYES KY-028**



## **NTC THERMISTOR OF MF52-TYPE** **SERIES SPECIFICATION**

### **\* Outline :**

The MF52 thermistor is a small-sized, epoxy-resin coated NTC resistor made from new-type material with new craftsmanship. It is featured with advantages including high precision and quick reaction.

### **\* Application :**

Air conditioners, heating facilities, electronic thermometers, fluid level sensors, automobile electronics and electronic table-calendars.

### **\* Features :**

1. High testing precision;
2. Small and quick in reaction;
3. Long and good service;
4. Good interconvertibility and consistency.

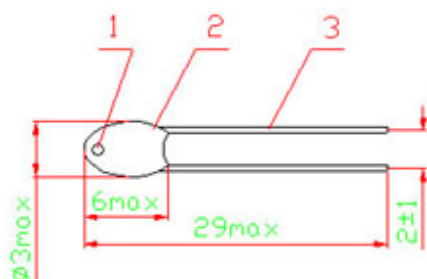
### **\* Part NO. :**

MF52 E 103 H L 347

① ② ③ ④ ⑤ ⑥

- ① Drop-like NTC thermistor
- ② E : Epoxy-resin coated package S : Silicone coated package
- ③ R25: 10K $\Omega$ -103
- ④ Tolerance: F :  $\pm 1\%$  G :  $\pm 2\%$  H :  $\pm 30\%$  J :  $\pm 5\%$  K :  $\pm 10\%$
- ⑤ L : B25/50 H : B25/85 T : Special
- ⑥ B-value : 347 : 3470 338 : 3380 we adopted the former three digits

**\* Dimensions(mm) :**



**\* Specification**

Model	R25	B value	Dissipation	Time Constant	Temperature Range
MF52	100Ω-10KΩ	3100K			
MF52	200Ω-10KΩ	3270K			
MF52	500Ω-15KΩ	3470K			
MF52	1KΩ-50KΩ	3600K	$\geq 2.5\text{mW}/^{\circ}\text{C}$	$\leq 7\text{S}$	-40°C~+120°C
MF52	5KΩ-50KΩ	3950K	in static air	in static air	
MF52	10KΩ-100KΩ	4050K			
MF52	10KΩ-100KΩ	4150K			
MF52	20KΩ-500KΩ	4300K			

**Remarks:**

- 1) Tolerance of the resistance: F :  $\pm 1\%$  G :  $\pm 2\%$  H :  $\pm 3\%$  J :  $\pm 5\%$  K :  $\pm 10\%$  .
- 2) The Tolerance of the B-value is  $\pm 1\%$  in response with a rated resistance for which the precision is  $\pm 1\%$ , The tolerance of B-value is  $\pm 2\%$  under other circumstances.
- 3) Products with specifications unmentioned in the table above are available upon customers' request.

**\* Cautions :**

- 1) The two ends of the lead is not supposed to be loaded with excess pulling stress,owing to the small size and small welding spot of MF52-srs products.
- 2) Soldering is supposed to be done 5mm away from the root of the lead,and only for a brief moment.
- 3) Thermistor of MF52-srs are not supposed to be exposed directly in water while working.

**Normal specification Resistance & Temperature Table of MF52-type (Unit : KΩ)**

	10 KΩ	50 KΩ	100 KΩ	50 KΩ	50 KΩ	100 KΩ	100 KΩ	150 KΩ
	3950	3950	4000	4050	4150	4150	4300	4500
-30	181.70	908.30	1790.00					
-25	133.30	666.50	1321.00					
-20	98.88	494.50	984.70					
-15	74.10	370.50	740.80					
-10	56.06	280.30	562.30					
-5	42.80	214.00	430.50					
0	98.96	164.80	332.30	168.80	172.00	344.10	352.40	576.70
5	25.58	127.90	257.50	131.30	132.20	264.30	270.00	433.20
10	20.00	99.98	201.10	101.00	102.40	204.80	208.30	328.40
15	15.76	78.79	158.20	79.28	80.03	160.10	161.90	250.90
20	12.51	62.55	125.40	62.78	63.00	125.00	136.70	193.30
25	10.00	50.00	100.00	50.00	50.00	100.00	100.00	150.00
30	8.048	40.24	80.29	39.98	39.76	79.51	78.35	117.30
35	6.518	32.59	64.87	32.16	31.89	63.77	62.37	92.28
40	5.312	26.56	57.72	26.10	25.73	51.45	49.94	73.11
45	4.354	21.77	43.10	21.35	20.88	41.76	40.22	58.28
50	3.588	17.94	35.42	17.72	17.04	34.08	32.56	46.74
55	2.974	14.87	29.26	14.36	13.99	27.97	26.40	37.71
60	2.476	12.38	24.30	11.92	11.53	23.06	21.53	30.58
65	2.072	10.36	20.27	9.938	9.541	19.08	17.69	24.94
70	1.743	8.717	16.99	8.317	7.929	15.86	14.62	20.45
75	1.473	7.364	14.31	6.991	6.621	13.24	12.20	16.85
80	1.250	6.248	12.10	5.906	5.552	11.10	10.05	13.94
85	1.065	5.324	10.27	5.012	4.674	9.348	8.376	11.60
90	0.911	4.555	8.758	4.271	3.950	7.900	7.004	9.680
95	0.7824	3.912	7.495	3.654	3.349	6.698	5.894	8.118
100	0.6744	3.372	6.438	3.316	2.849	5.698	4.978	6.836
105	0.5836	2.918	5.550	2.701	2.438	4.875	4.215	5.780
110	0.5066	2.533	4.801	2.336	2.093	4.186	3.580	4.904

### **C.3. Datasheet del Sensor de Ultrasonidos HC-SR04**





## Ultrasonic Ranging Module HC - SR04

### Product features:

Ultrasonic ranging module HC - SR04 provides 2cm - 400cm non-contact measurement function, the ranging accuracy can reach to 3mm. The modules includes ultrasonic transmitters, receiver and control circuit. The basic principle of work:

- (1) Using IO trigger for at least 10us high level signal,
- (2) The Module automatically sends eight 40 kHz and detect whether there is a pulse signal back.
- (3) IF the signal back, through high level , time of high output IO duration is the time from sending ultrasonic to returning.

Test distance = (high level time×velocity of sound (340M/S) / 2,

### Wire connecting direct as following:

- 5V Supply
- Trigger Pulse Input
- Echo Pulse Output
- 0V Ground

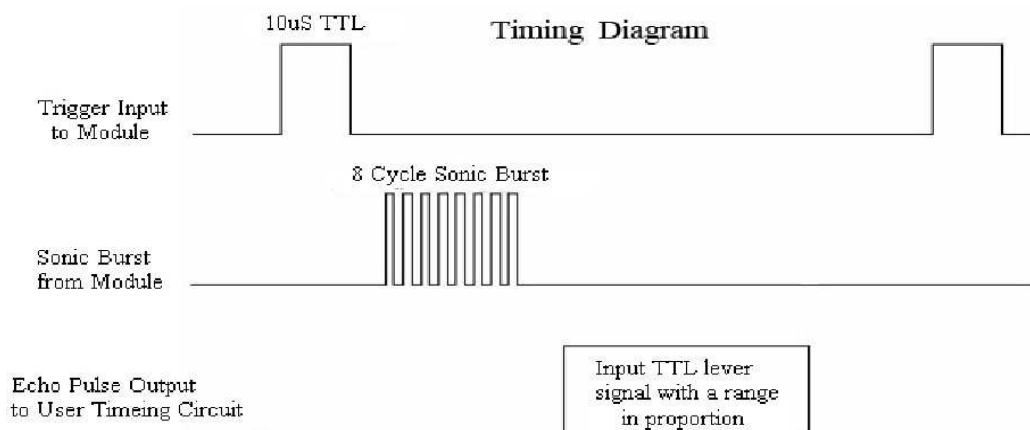
### Electric Parameter

Working Voltage	DC 5 V
Working Current	15mA
Working Frequency	40Hz
Max Range	4m
Min Range	2cm
MeasuringAngle	15 degree
Trigger Input Signal	10uS TTL pulse
Echo Output Signal	Input TTL lever signal and the range in proportion
Dimension	45*20*15mm



## Timing diagram

The Timing diagram is shown below. You only need to supply a short 10uS pulse to the trigger input to start the ranging, and then the module will send out an 8 cycle burst of ultrasound at 40 kHz and raise its echo. The Echo is a distance object that is pulse width and the range in proportion. You can calculate the range through the time interval between sending trigger signal and receiving echo signal. Formula:  $\mu\text{S} / 58 = \text{centimeters}$  or  $\mu\text{S} / 148 = \text{inch}$ ; or: the range = high level time \* velocity (340M/S) / 2; we suggest to use over 60ms measurement cycle, in order to prevent trigger signal to the echo signal.



---

## **Attention:**

- The module is not suggested to connect directly to electric, if connected electric, the GND terminal should be connected the module first, otherwise, it will affect the normal work of the module.
- When tested objects, the range of area is not less than 0.5 square meters and the plane requests as smooth as possible, otherwise ,it will affect the results of measuring.

**[www.ElecFreaks.com](http://www.ElecFreaks.com)**



## **C.4. Datasheet de la del Sensor de Fotoresistor KEYES KY-018 (Fotoresistencia)**



# Data Sheet

## Light dependent resistors

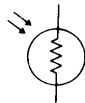
**NORP12 RS stock number 651-507**  
**NSL19-M51 RS stock number 596-141**

Two cadmium sulphide (cdS) photoconductive cells with spectral responses similar to that of the human eye. The cell resistance falls with increasing light intensity. Applications include smoke detection, automatic lighting control, batch counting and burglar alarm systems.

### Guide to source illuminations

Light source	Illumination (Lux)
Moonlight	0.1
60W bulb at 1m	50
1W MES bulb at 0.1m	100
Fluorescent lighting	500
Bright sunlight	30,000

### Circuit symbol



### Light memory characteristics

Light dependent resistors have a particular property in that they remember the lighting conditions in which they have been stored. This memory effect can be minimised by storing the LDRs in light prior to use. Light storage reduces equilibrium time to reach steady resistance values.

### NORP12 (RS stock no. 651-507)

#### Absolute maximum ratings

Voltage, ac or dc peak	320V
Current	75mA
Power dissipation at 30°C	250mW
Operating temperature range	-60°C to +75°C

### Electrical characteristics

$T_A = 25^\circ\text{C}$ . 2854°K tungsten light source

Parameter	Conditions	Min.	Typ.	Max.	Units
Cell resistance	1000 lux	-	400	-	$\Omega$
	10 lux	-	9	-	k $\Omega$
Dark resistance	-	1.0	-	-	M $\Omega$
Dark capacitance	-	-	3.5	-	pF
Rise time 1	1000 lux	-	2.8	-	ms
	10 lux	-	18	-	ms
Fall time 2	1000 lux	-	48	-	ms
	10 lux	-	120	-	ms

1. Dark to 110%  $R_L$

2. To  $10 \times R_L$

$R_L$  = photocell resistance under given illumination.

### Features

- Wide spectral response
- Low cost
- Wide ambient temperature range.

### Dimensions

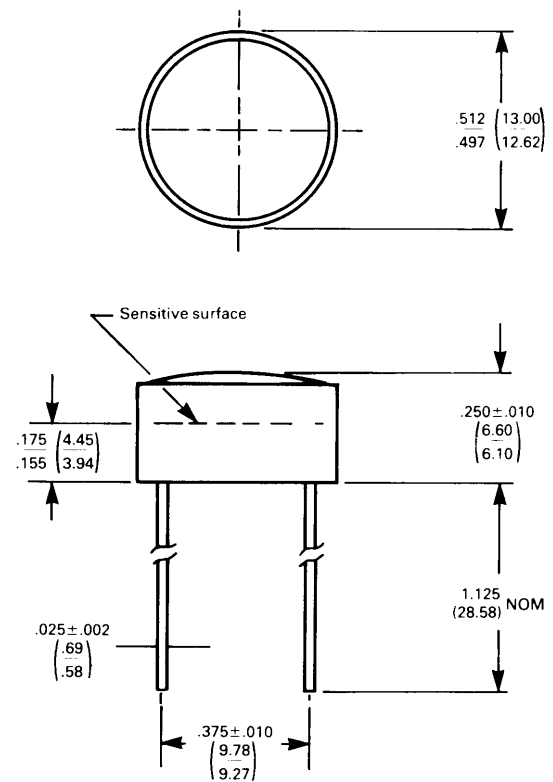


Figure 1 Power dissipation derating

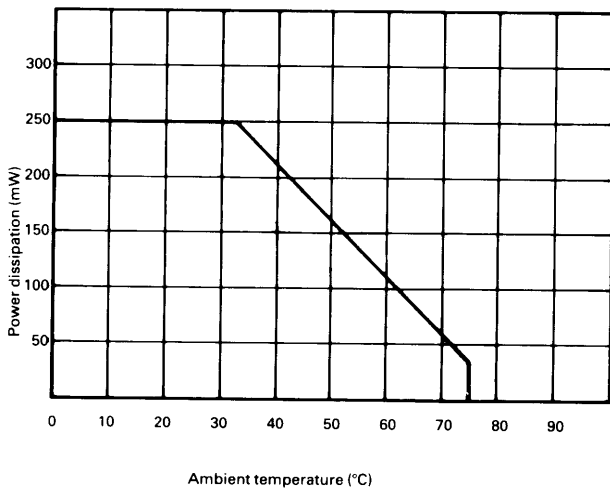
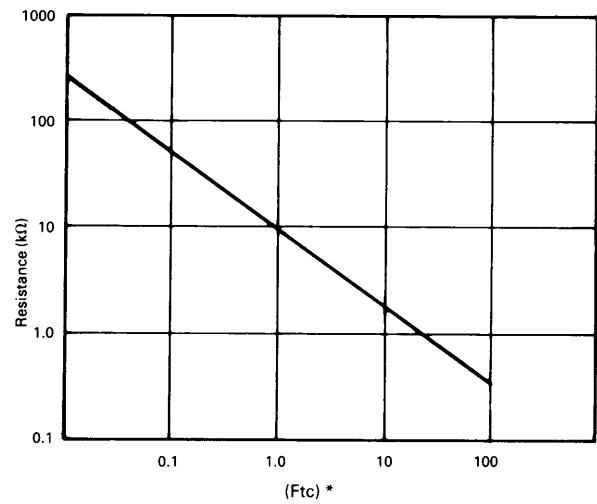
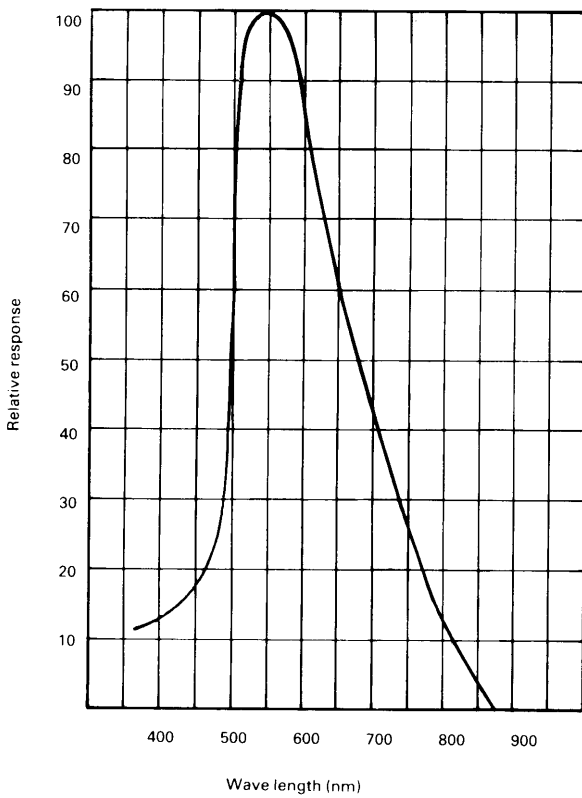


Figure 3 Resistance as a function of illumination



\*1Ftc=10.764 lumens

Figure 2 Spectral response



### Absolute maximum ratings

Voltage, ac or dc peak \_\_\_\_\_ 100V  
 Current \_\_\_\_\_ 5mA  
 Power dissipation at 25°C \_\_\_\_\_ 50mW\*  
 Operating temperature range \_\_\_\_\_ -25°C +75°C

\*Derate linearly from 50mW at 25°C to 0W at 75°C.

### Electrical characteristics

Parameter	Conditions	Min.	Typ.	Max.	Units
Cell resistance	10 lux	20	-	100	kΩ
	100 lux	-	5	-	kΩ
Dark resistance	10 lux after 10 sec	20	-	-	MΩ
Spectral response	-	-	550	-	nm
Rise time	10ftc	-	45	-	ms
Fall time	10ftc	-	55	-	ms

Figure 4 Resistance as a function illumination

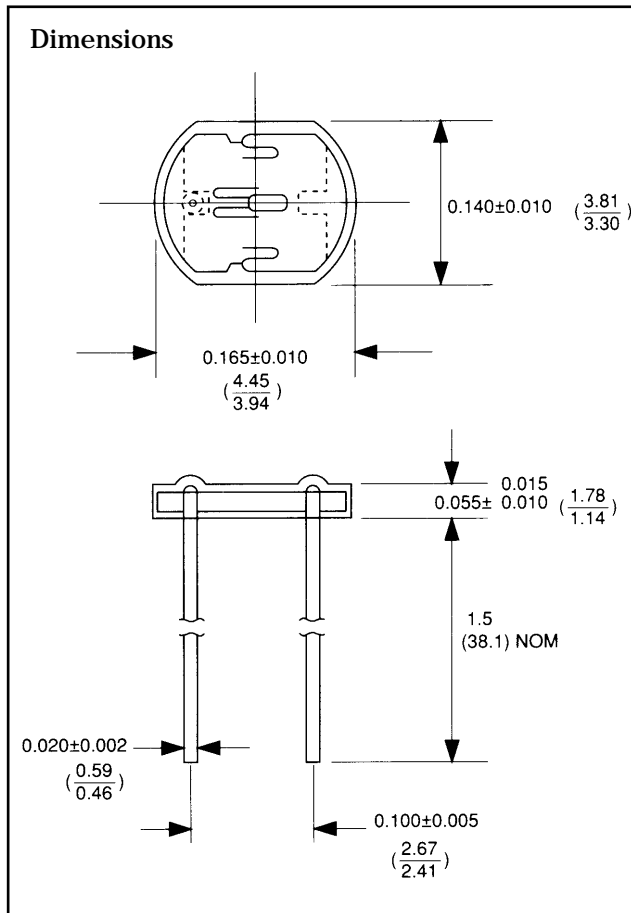
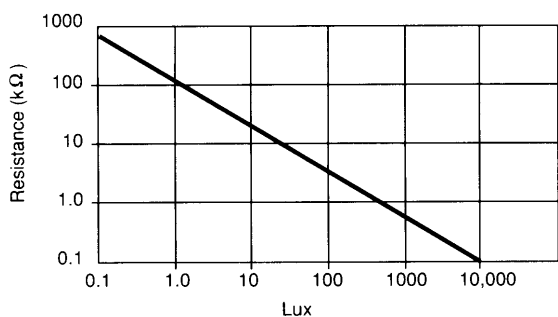
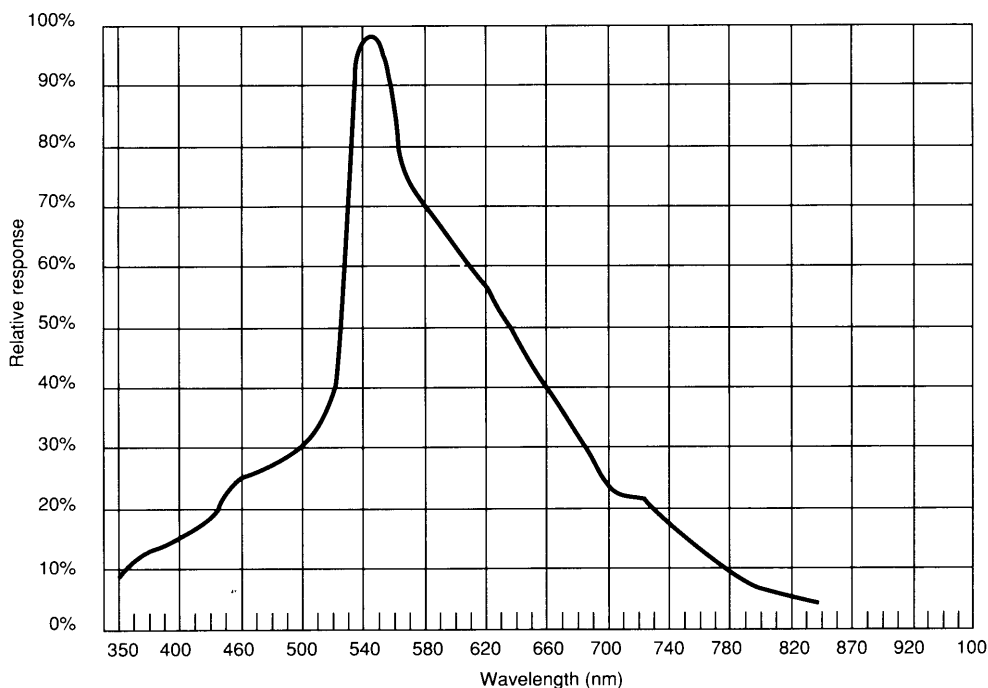
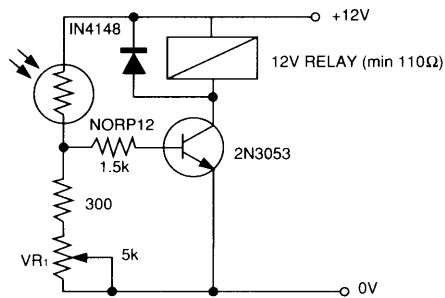


Figure 5 Spectral response



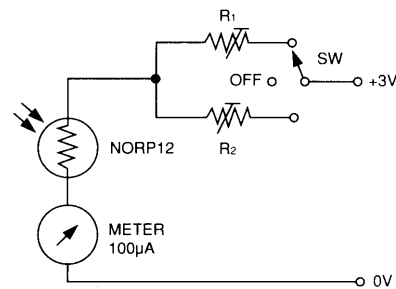
Typical application circuits

Figure 6 Sensitive light operated relay



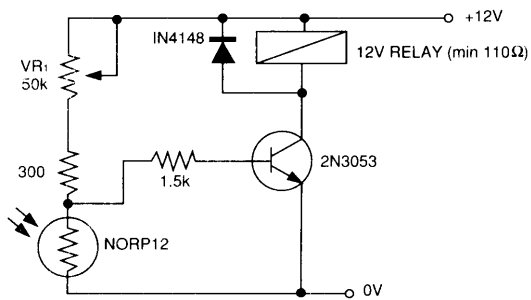
Relay energised when light level increases above the level set by VR<sub>1</sub>

Figure 9 Logarithmic law photographic light meter



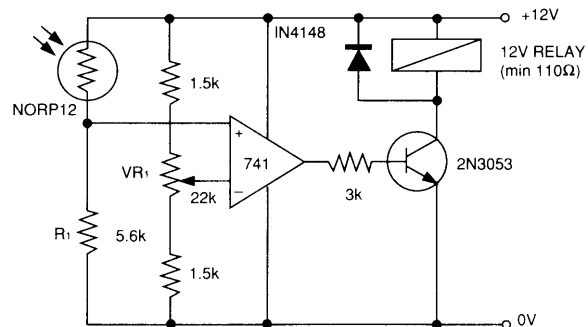
Typical value R<sup>1</sup> = 100kΩ  
R<sup>2</sup> = 200kΩ preset to give two overlapping ranges.  
(Calibration should be made against an accurate meter.)

Figure 7 Light interruption detector



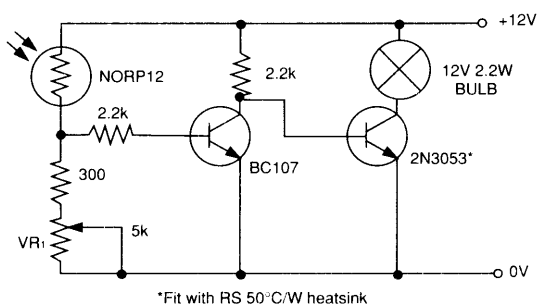
As Figure 6 relay energised when light level drops below the level set by VR<sub>1</sub>

Figure 10 Extremely sensitive light operated relay



(Relay energised when light exceeds preset level.)  
Incorporates a balancing bridge and op-amp. R<sub>1</sub> and NORP12 may be interchanged for the reverse function.

Figure 8 Automatic light circuit



Adjust turn-on point with VR<sub>1</sub>

The information provided in RS technical literature is believed to be accurate and reliable; however, RS Components assumes no responsibility for inaccuracies or omissions, or for the use of this information, and all use of such information shall be entirely at the user's own risk. No responsibility is assumed by RS Components for any infringements of patents or other rights of third parties which may result from its use. Specifications shown in RS Components technical literature are subject to change without notice.

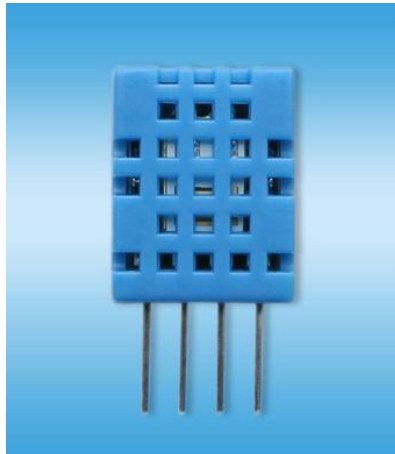


## **C.5. Datasheet del sensor de Humedad KEYES KY-015 (DHT11)**

# AOSONG

## Temperature and humidity module

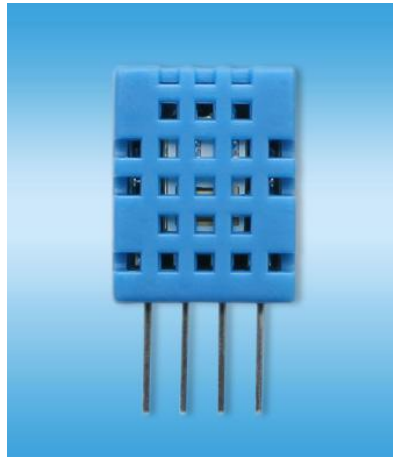
### DHT11 Product Manual



[www.aosong.com](http://www.aosong.com)

## 1、 Product Overview

DHT11 digital temperature and humidity sensor is a composite Sensor contains a calibrated digital signal output of the temperature and humidity. Application of a dedicated digital modules collection technology and the temperature and humidity sensing technology, to ensure that the product has high reliability and excellent long-term stability. The sensor includes a resistive sense of wet components and an NTC temperature measurement devices, and connected with a high-performance 8-bit microcontroller.



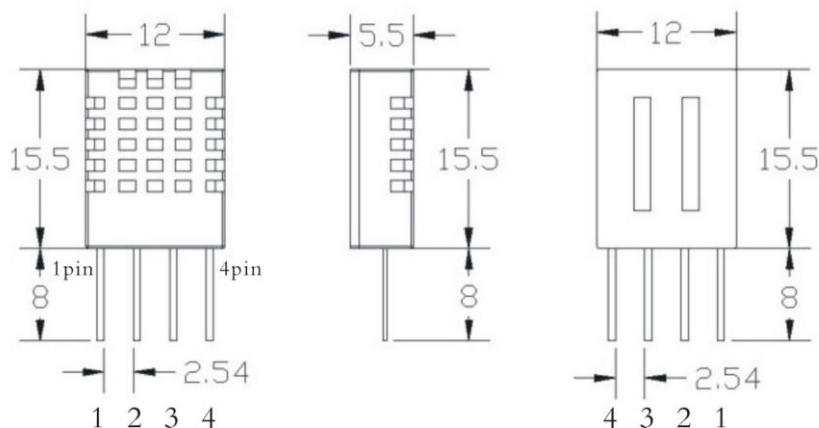
## 2、 Applications

HVAC, dehumidifier, testing and inspection equipment, consumer goods, automotive, automatic control, data loggers, weather stations, home appliances, humidity regulator, medical and other humidity measurement and control.

## 3、 Features

Low cost, long-term stability, relative humidity and temperature measurement, excellent quality, fast response, strong anti-interference ability, long distance signal transmission, digital signal output, and precise calibration.

## 4、 Dimensions (unit: mm)



## 5、 Product parameters

Relative humidity

Resolution: 16Bit

Repeatability:  $\pm 1\%$  RH

Accuracy: At 25°C  $\pm 5\%$  RH

Interchangeability: fully interchangeable

Response time: 1 / e (63%) of 25°C 6s

1m / s air 6s

Hysteresis:  $< \pm 0.3\%$  RH

Long-term stability:  $< \pm 0.5\%$  RH / yr in

Temperature

Resolution: 16Bit

Repeatability:  $\pm 0.2^\circ\text{C}$

Range: At 25°C  $\pm 2^\circ\text{C}$

Response time: 1 / e (63%) 10S

Electrical Characteristics

Power supply: DC 3.5 ~ 5.5V

Supply Current: measurement 0.3mA standby 60 $\mu$  A

Sampling period: more than 2 seconds

Pin Description

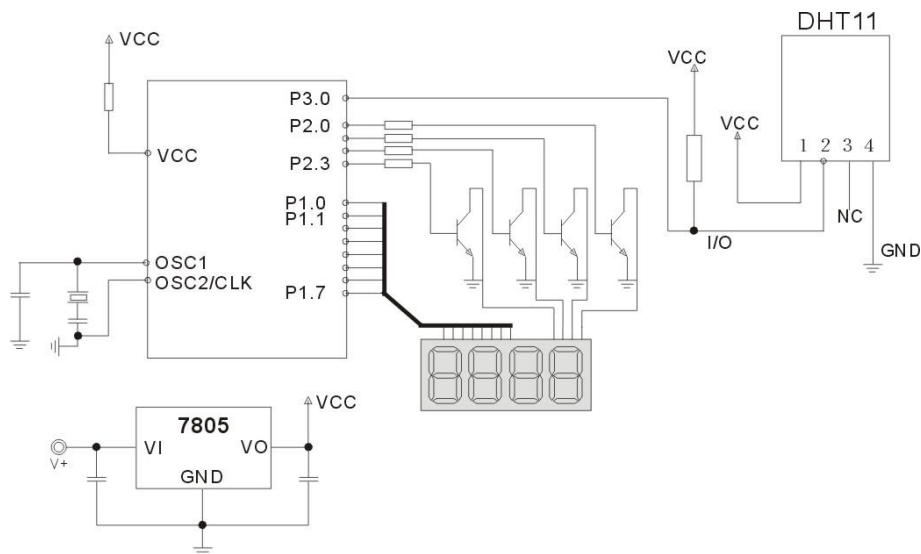
1, the VDD power supply 3.5 ~ 5.5V DC

2 DATA serial data, a single bus

3, NC, empty pin

4, GND ground, the negative power

### 6、Typical circuit



Microprocessor and DHT11 of connection typical application circuit as shown above, DATA pull the microprocessor I / O ports are connected.

1. Typical application circuit recommended in the short cable length of 20 meters on the 5.1K pull-up resistor, the resistance of greater than 20 meters under the pull-up resistor on the lower of the actual situation.
2. When using a 3.5V voltage supply cable length shall not be greater than 20cm. Otherwise, the line voltage drop will cause the sensor power supply shortage, caused by measurement error.
3. Each read out the temperature and humidity values are the results of the last measurement For real-time data, sequential read twice, but is not recommended to repeatedly read the sensors, each read sensor interval is greater than 5 seconds can be obtained accurate data.

### 7、Serial communication instructions (single-wire bi-directional)

#### ©Single bus Description

DHT11 uses a simplified single-bus communication. Single bus that only one data line, the system of data exchange, control by a single bus to complete. Device (master or slave) through an open-drain or tri-state port connected to the data line to allow the device does not send data to release the bus, while other devices use the bus; single bus usually require an external one about 5.1k $\Omega$  pull-up resistor, so that when the bus is idle, its status is high. Because they are the master-slave structure, and only when the host calls the slave, the slave can answer, the host access devices must strictly follow the single-bus sequence, if the chaotic sequence, the device will not respond to the host.

#### ©Single bus to transfer data defined

DATA For communication and synchronization between the microprocessor and DHT11, single-bus data format, a transmission of 40 data, the high first-out.

Data format:

The 8bit humidity integer data + 8bit the Humidity decimal data +8 bit temperature integer data + 8bit fractional temperature data +8 bit parity bit.

©Parity bit data definition

“8bit humidity integer data + 8bit humidity decimal data +8 bit temperature integer data + 8bit temperature fractional data” 8bit checksum is equal to the results of the last eight.

Example 1: 40 data is received:

<u>0011 0101</u>	<u>0000 0000</u>	<u>0001 1000</u>	<u>0000 0000</u>	<u>0100 1101</u>
High humidity 8	Low humidity 8	High temp. 8	Low temp. 8	Parity bit

Calculate:

$0011\ 0101 + 0000\ 0000 + 0001\ 1000 + 0000\ 0000 = 0100\ 1101$

Received data is correct;

Humidity:  $0011\ 0101 = 35H = 53\%RH$

Temperature:  $0001\ 1000 = 18H = 24^{\circ}C$

Example 2: 40 data is received:

<u>0011 0101</u>	<u>0000 0000</u>	<u>0001 1000</u>	<u>0000 0000</u>	<u>0100 1001</u>
High humidity 8	Low humidity 8	High temp. 8	Low temp. 8	Parity bit

Calculate:

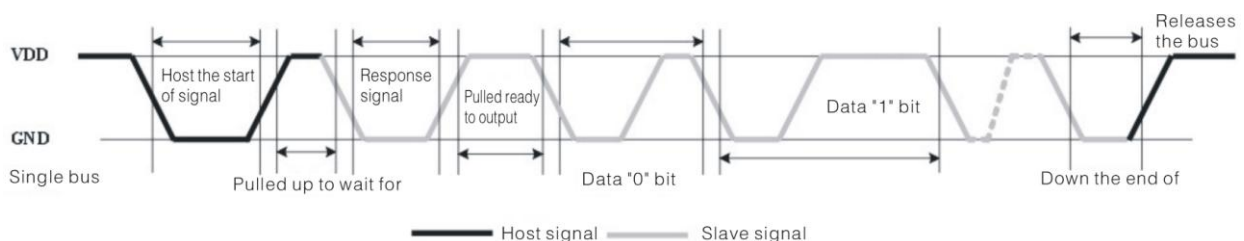
$0011\ 0101 + 0000\ 0000 + 0001\ 1000 + 0000\ 0000 = 0100\ 1101$

$01001101 \neq 0100\ 1001$

The received data is not correct, give up, to re-receive data.

©Data Timing Diagram

User host (MCU) to send a signal, DHT11 converted from low-power mode to high-speed mode, until the host began to signal the end of the DHT11 send a response signal to send 40bit data, and trigger a letter collection. The signal is sent as shown.



Data Timing Diagram

Note: The host reads the temperature and humidity data from DHT11 always the last measured value, such as twice the measured interval of time is very long, continuous read twice to the second value of real-time temperature and humidity values.

©Peripherals read steps

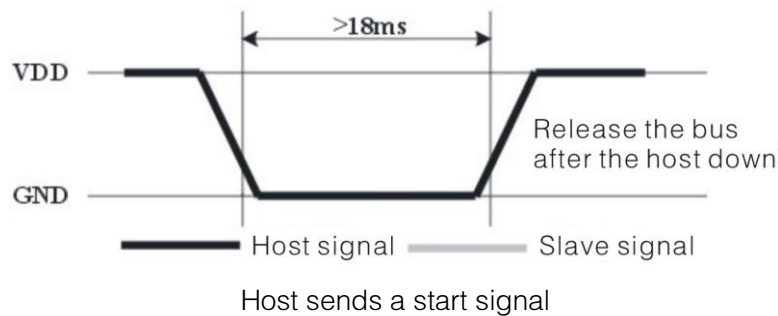
Communication between the master and slave can be done through the following steps (peripherals (such as microprocessors) read DHT11 the data of steps).

Step 1:

After power on DHT11 (DHT11 on after power to wait 1S across the unstable state during this period can not send any instruction), the test environment temperature and humidity data, and record the data, while DHT11 the DATA data lines pulled by pull-up resistor has been to maintain high; the DHT11 the DATA pin is in input state, the moment of detection of external signals.

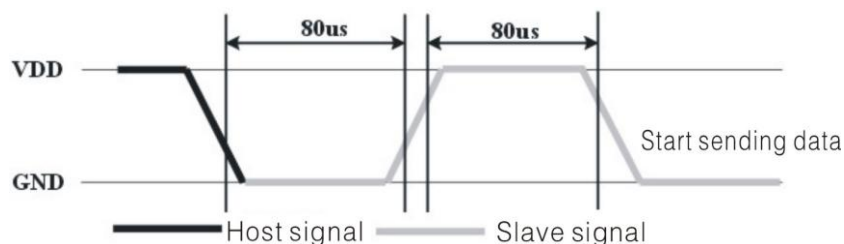
Step 2:

Microprocessor I / O set to output at the same time output low, and low hold time can not be less than 18ms, then the microprocessor I / O is set to input state, due to the pull-up resistor, a microprocessor/ O DHT11 the dATA data lines also will be high, waiting DHT11 to answer signal, send the signal as shown:



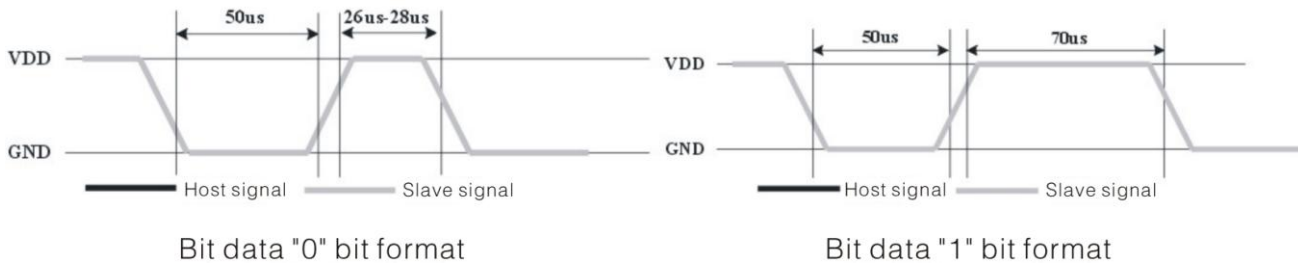
Step 3:

DATA pin is detected to an external signal of DHT11 low, waiting for external signal low end the delay DHT11 DATA pin in the output state, the output low of 80 microseconds as the response signal, followed by the output of 80 micro-seconds of high notification peripheral is ready to receive data, the microprocessor I / O at this time in the input state is detected the I / O low (DHT11 response signal), wait 80 microseconds high data receiving and sending signals as shown:



Step 4:

Output by DHT11 the DATA pin 40, the microprocessor receives 40 data bits of data "0" format: the low level of 50 microseconds and 26-28 microseconds according to the changes in the I / O levellevel, bit data "1" format: the high level of low plus, 50 microseconds to 70 microseconds. Bit data "0", "1" signal format as shown:



End signal:

Continue to output the low 50 microseconds after DHT11 the DATA pin output 40 data, and changed the input state, along with pull-up resistor goes high. But DHT11 internal re-test environmental temperature and humidity data, and record the data, waiting for the arrival of the external signal.

### 8、Application of information

#### 1. Work and storage conditions

Outside the sensor the proposed scope of work may lead to temporary drift of the signal up to 300%RH. Return to normal working conditions, sensor calibration status will slowly toward recovery. To speed up the recovery process may refer to "resume processing". Prolonged use of non-normal operating conditions, will accelerate the aging of the product.

Avoid placing the components on the long-term condensation and dry environment, as well as the following environment.

A, salt spray

B, acidic or oxidizing gases such as sulfur dioxide, hydrochloric acid

Recommended storage environment

Temperature: 10 ~ 40 °C Humidity: 60% RH or less

#### 2. The impact of exposure to chemicals

The capacitive humidity sensor has a layer by chemical vapor interference, the proliferation of chemicals in the sensing layer may lead to drift and decreased sensitivity of the measured values. In a pure environment, contaminants will slowly be released. Resume processing as described below will accelerate this process. The high concentration of chemical pollution (such as ethanol) will lead to the complete damage of the sensitive layer of the sensor.

#### 3. The temperature influence

Relative humidity of the gas to a large extent dependent on temperature. Therefore, in the measurement of humidity, should be to ensure that the work of the humidity sensor at the same temperature. With the release of heat of electronic components share a printed circuit board, the installation should be as far as possible the sensor away from the electronic components and mounted below the heat source, while maintaining good ventilation of the enclosure. To reduce the thermal conductivity sensor and printed circuit board copper plating should be the smallest possible, and leaving a gap between the two.

#### 4. Light impact

Prolonged exposure to sunlight or strong ultraviolet radiation, and degrade performance.



### 5. Resume processing

Placed under extreme working conditions or chemical vapor sensor, which allows it to return to the status of calibration by the following handler. Maintain two hours in the humidity conditions of 45°C and <10% RH (dry); followed by 20–30°C and > 70% RH humidity conditions to maintain more than five hours.

### 6. Wiring precautions

The quality of the signal wire will affect the quality of the voltage output, it is recommended to use high quality shielded cable.

### 7. Welding information

Manual welding, in the maximum temperature of 300°C under the conditions of contact time shall be less than 3 seconds.

### 8. Product upgrades

Details, please the consultation Aosong electronics department.

## 9、 The license agreement

Without the prior written permission of the copyright holder, shall not in any form or by any means, electronic or mechanical (including photocopying), copy any part of this manual, nor shall its contents be communicated to a third party. The contents are subject to change without notice.

The Company and third parties have ownership of the software, the user may use only signed a contract or software license.

## 10、 Warnings and personal injury

This product is not applied to the safety or emergency stop devices, as well as the failure of the product may result in injury to any other application, unless a particular purpose or use authorized. Installation, handling, use or maintenance of the product refer to product data sheets and application notes. Failure to comply with this recommendation may result in death and serious personal injury. The Company will bear all damages resulting personal injury or death, and waive any claims that the resulting subsidiary company managers and employees and agents, distributors, etc. that may arise, including: a variety of costs, compensation costs, attorneys' fees, and so on.

## 11、 Quality Assurance

The company and its direct purchaser of the product quality guarantee period of three months (from the date of delivery). Publishes the technical specifications of the product data sheet shall prevail. Within the warranty period, the product was confirmed that the quality is really defective, the company will provide free repair or replacement. The user must satisfy the following conditions:

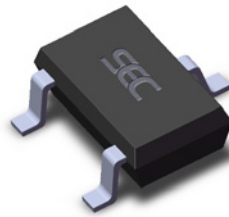
- ① The product is found defective within 14 days written notice to the Company;
- ② The product shall be paid by mail back to the company;
- ③ The product should be within the warranty period.

The Company is only responsible for those used in the occasion of the technical condition of the product defective product. Without any guarantee, warranty or written statement of its products used in special applications. Company for its products applied to the reliability of the product or circuit does not make any commitment.

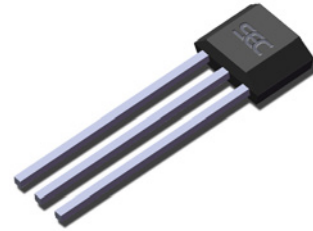
## **C.6. Datasheet del sensor de Campo Magnético KEYES KY-035 (SS49E)**

### Features

- Miniature construction
- Low-Noise Output
- 4.5 V to 6 V Operation
- Magnetically Optimized Package
- Linear output for circuit design flexibility
- Temperature range of -40 °C to 150 °C



3 pin SOT23 (suffix SO)



3 pin SIP (suffix UA)

### Description

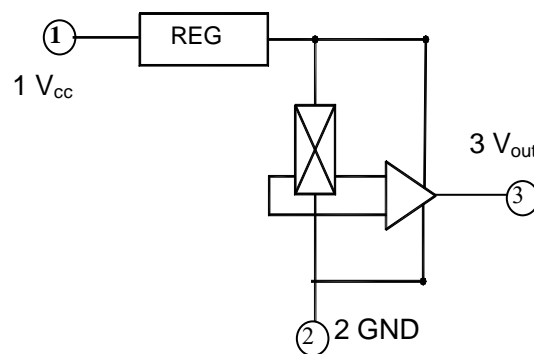
SS49E Linear Hall-effect sensor is small, versatile linear Hall-effect device that is operated by the magnetic field from a permanent magnet or an electromagnet. The linear sourcing output voltage is set by the supply voltage and varies in proportion to the strength of the magnetic field. The integrated circuitry features low noise out-

put, which makes it unnecessary to use external filtering. It also includes thin film resistors to provide increased temperature stability and accuracy. The linear Hall sensor has an operating temperature range of -40 °C to 150 °C appropriate for commercial, consumer and industrial environments.

### Typical Applications

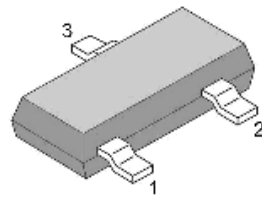
- Motor control
- Magnetic code reading
- Ferrous metal detector
- Current sensing
- Position sensing

### Functional Block Diagram

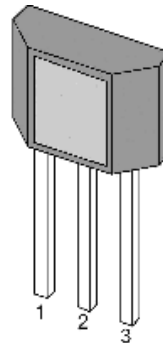


### Pin Definitions and Descriptions

SOT Pin №	SIP Pin №	Name	Type	Function
1	1	V <sub>DD</sub>	Supply	Supply Voltage pin
2	3	OUT	Output	Open Drain Output pin
3	2	GND	Ground	Ground pin



SOT-23



TO-92

### Absolute Maximum Ratings

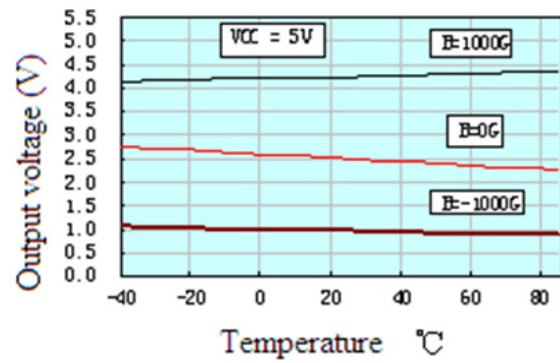
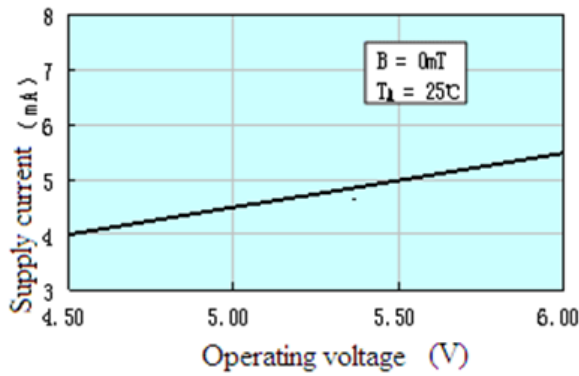
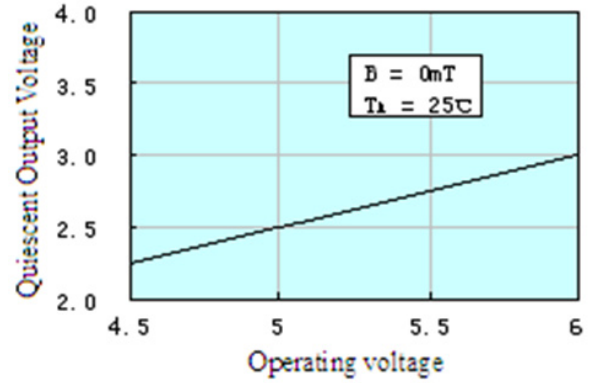
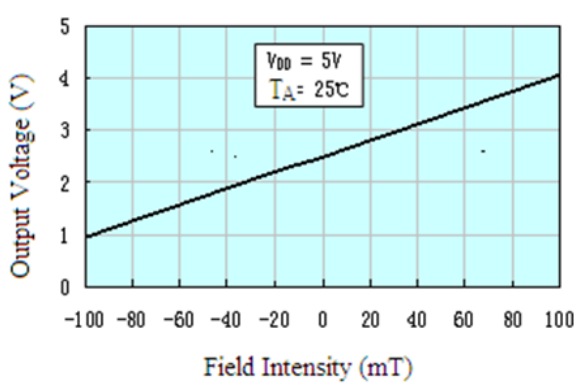
Parameter	Symbol	Value	Units
Supply Voltage (operating)	V <sub>CC</sub>	8.0	V
Output Current	I <sub>OUT</sub>	20	mA
Operating Temperature Range	T <sub>A</sub>	-40~150	°C
Storage Temperature Range	T <sub>S</sub>	-65~150	°C

### Electrical Characteristics

Operating Parameters T<sub>A</sub> = 25°C, V<sub>CC</sub> = 5.0 V

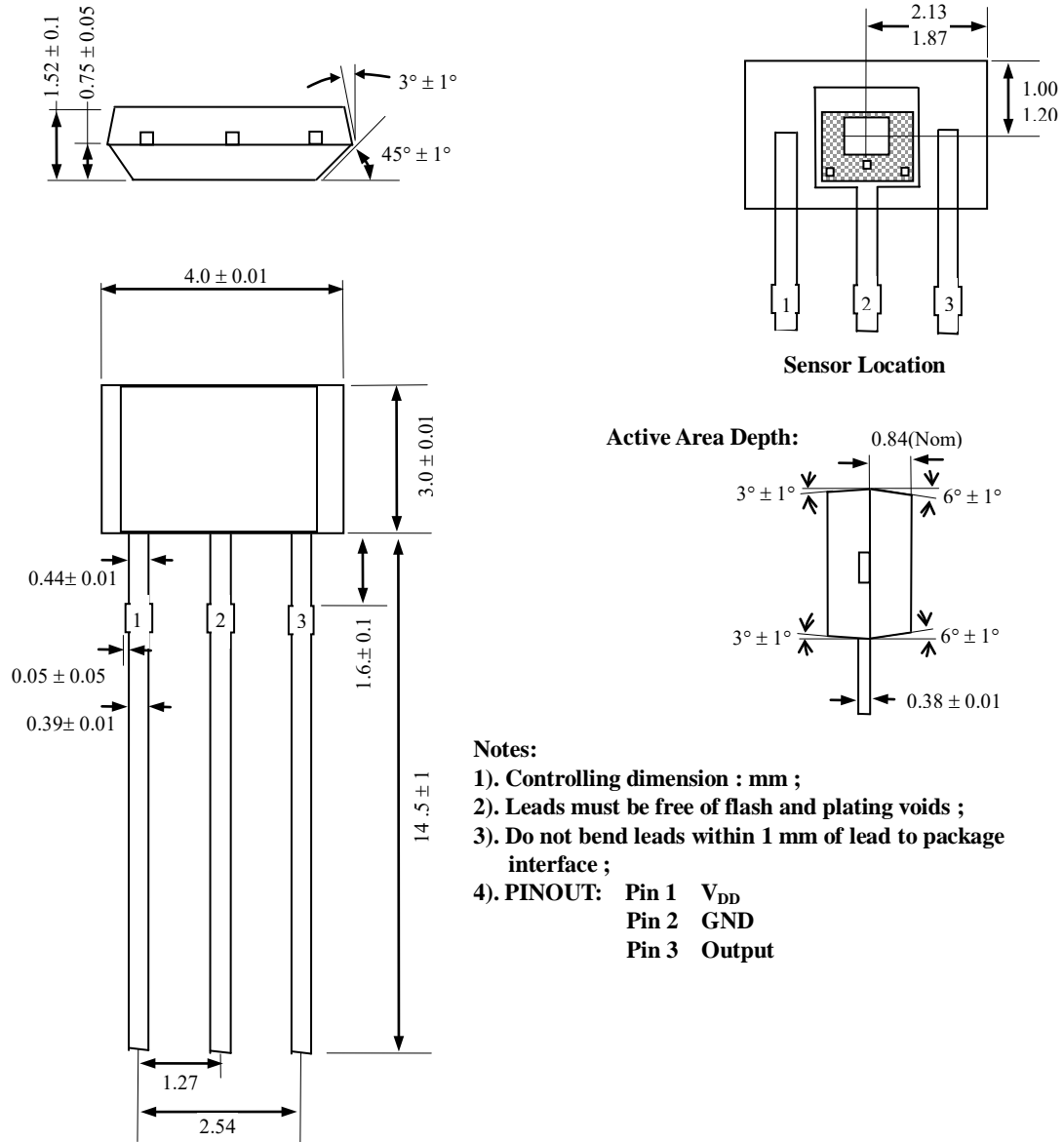
Parameter	Symbol	Test Conditions	Min	Typ	Max	Units
Operating voltage	V <sub>CC</sub>	Operating	3.0		6.5	V
Supply current	I <sub>CC</sub>	Average		4.2	8.0	mA
Output Current	I <sub>OUT</sub>		1.0	1.5		mA
Response Time	T <sub>ack</sub>			3		µs
Quiescent Output Voltage	V <sub>o</sub>	B = 0G	2.25	2.5	2.75	V
Sensitivity	ΔV <sub>OUT</sub>	T <sub>A</sub> = 25°C	2.0	2.5	3.0	mV/G
Min Output Voltage		B = -1500G		0.86		V
Max Output Voltage		B = 1500G		4.21		V
Linearity (% of Span)				-0.007		
Temperature Error (Null Drift)			-0.10		0.10	%/°C
Sensitivity Drift		T <sub>A</sub> ≥ 25°C	-0.15		0.05	%/°C
		T <sub>A</sub> < 25°C	-0.04		0.185	%/°C

**Performance Characteristics**



## Package Information

### Package UA, 3-Pin SIP:



**Notes:**

- 1). Controlling dimension : mm ;
- 2). Leads must be free of flash and plating voids ;
- 3). Do not bend leads within 1 mm of lead to package interface ;
- 4). PINOUT: **Pin 1**  $V_{DD}$   
**Pin 2** GND  
**Pin 3** Output