

Trabajo Fin de Grado

Diseño e implementación de un sistema de
medida de gases con Arduino

Autor/es

Félix Marco Millán

Director/es

Jorge Delgado Gracia

Escuela Universitaria Politécnica de Teruel
2016

ÍNDICE

1.- Introducción.....	Pág. 1
2.- Fuentes de Contaminación y/o lugares en los que se aplicará la monitorización	Pág. 2
2.1.- Biomasa. Definición, Procedencia y Tipos	Pág. 2
2.1.1- Principales usos de la biomasa y de los combustibles fósiles.....	Pág. 3
2.2.- Fuentes móviles de contaminación	Pág. 5
2.3.- Calidad del aire en interiores de edificios	Pág. 5
3.- Micro-Controlador y sensores usados para la monitorización de gases	Pág. 7
3.1.- ¿Qué es Arduino?	Pág. 7
3.2.- Tipos de placas Arduino existentes	Pág. 8
3.2.1- Arduino UNO	Pág. 10
3.2.2- Arduino NANO.....	Pág. 11
3.2.3- Arduino Mega 2560	Pág. 12
3.3.- Alternativas existentes para cuantificar gases y los sensores usados en la monitorización.....	Pág. 13
3.3.1- Resumen de los distintos tipos de sensores MQ existentes en el mercado.....	Pág. 15
3.3.2- Sensor MQ-4	Pág. 16
3.3.3- Sensor MQ-7	Pág. 19
3.3.4- Sensor MQ-135	Pág. 23
3.3.5- Termopar tipo K.....	Pág. 25
4.- Procesamiento de datos de los sensores	Pág. 27
4.1.- Processing	Pág. 27

4.1.1- ¿Qué es Processing?	Pág. 27
4.1.2- Comunicación Arduino - Processing	Pág. 27
4.2.- NetBeans.....	Pág. 28
4.2.1- Comunicación Arduino - Excel.....	Pág. 28
5.- Coste de la Monitorización	Pág. 32
6.- Planos.....	Pág. 33
6.1.- Conexiones del sensor MQ-4.....	Pág. 33
6.2.- Conexiones del sensor MQ-7	Pág. 34
6.3.- Conexiones del sensor MQ-135	Pág. 35
6.4.- Conexiones del termopar y el Chip MAX31855.....	
.....	Pág. 36
6.- Bibliografía	Pág. 37
7.- Anexos.....	Pág. 42
Anexo 1: Ajuste por mínimos cuadrados	Pág. 42
A.1.1.- Ajuste para el sensor MQ-4 (Metano).....	Pág. 43
A.1.1.- Ajuste para el sensor MQ-7 (CO)	Pág. 46
A.1.1.- Ajuste para el sensor MQ-135 (CO ₂)	Pág. 49
Anexo 2: Distinción de los tipos de termopar según el código de colores (Normas ANSI e IEC)	Pág. 51
Anexo 3: Programas en Arduino para la calibración de los sensores tipo MQ	Pág. 52
A.3.1.- Calibración del sensor MQ-4 (Metano)...	Pág. 52
A.3.2.- Calibración del sensor MQ-7 (CO)	Pág. 52
A.3.3.- Calibración del sensor MQ-135 (CO ₂)	Pág. 52

Anexo 4: Programa en Arduino para el cálculo de ppm (CH ₄ , CO y CO ₂) y de temperatura.....	Pág. 53
Anexo 5: Programas de calibración de los sensores tipo MQ (Arduino + Processing)	Pág. 54
A.5.1.- Calibración del sensor MQ-4 (Metano)...	Pág. 54
A.5.2.- Calibración del sensor MQ-7 (CO)	Pág. 54
A.5.3.- Calibración del sensor MQ-135 (CO ₂)	Pág. 54
Anexo 6: Programa de cálculo de ppm (CH ₄ , CO, CO ₂) y de temperatura (Arduino + NetBeans)	Pág. 55
Anexo 7: Hojas de características	Pág. 56
A.7.1.- Arduino Mega 2560	Pág. 56
A.7.2.- Sensor MQ-4 (Metano).....	Pág. 64
A.7.3.- Sensor MQ-7 (CO)	Pág. 66
A.7.4.- Sensor MQ-135 (CO ₂ y otros gases).....	Pág. 69
A.7.5.- Chip MAX31855 (Cold-Junction Compensated Thermocouple to Digital Converter)	Pág. 71
A.7.6.- Circuito Integrado L293D (Quadruple Half-H Drivers).....	Pág. 84
A.7.7.- Diodo Zener 2.7 V (BZX55C)	Pág. 105
A.7.8.- Transistor NPN BC547B	Pág. 111
A.7.9.- Relé AXICOM IM43N 5V	Pág. 117

1. Introducción [1]

En procesos de aprovechamiento de la biomasa/residuos para la obtención de energía, se generan mezclas de gases combustibles, cuya composición y caudal necesitan ser determinados. También se generan pequeñas cantidades de gases contaminantes, que igualmente necesitan ser cuantificados.

Asimismo, en el día a día existen fuentes móviles de contaminación (donde se incluyen diversas formas de transporte tales como automóviles, camiones, aviones, etc.). La principal fuente móvil de contaminación del aire es el automóvil, pues produce gases contaminantes peligrosos y/o nocivos para la salud (por ejemplo los óxidos de nitrógeno, NO_x) y otros que son los causantes del llamado "Calentamiento global" (por ejemplo dióxido de carbono, CO_2).

Otra aplicación para la que puede ser interesante la medición de ciertos gases es para determinación de la calidad del aire en interiores (por ejemplo oficinas de trabajo, locales comerciales, talleres, etc...).

El objetivo de este proyecto consiste en estudiar la posibilidad de usar Arduino para construir un sistema completo de detección de gases, capaz de registrar los datos medidos usando sensores que sean accesibles, que sirvan para aplicaciones en interiores y de bajo coste.

Los gases contaminantes para los cuales se han encontrado sensores económicos y que se puedan implementar mediante Arduino son: Metano (CH_4), Monóxido de Carbono (CO), y Dióxido de Carbono (CO_2), además de un termopar que permite medir altas temperaturas. En este trabajo no se han considerado otros tipos de sensores que o bien resultan menos económicos (por ejemplo los sensores de SO_x , NO_x , hidrocarburos y otros), o bien necesitan equipamiento adicional (por ejemplo, los sistemas de medida de partículas sólidas o aerosoles).

2. Fuentes de contaminación y/o lugares en los que se aplicará la monitorización

2.1 Biomasa. Definición, Procedencia y Tipos

- **Definición [2]**

En la Unión Europea existen 2 definiciones de biomasa.

La definición amplia incluye fundamentalmente restos de la agricultura, desechos de las industrias relacionadas con la transformación de los materiales de la agricultura, de la silvicultura e incluso, de la fracción biodegradable de los residuos industriales y municipales, así como de la materia de demolición. Esta definición proviene de la directiva de promoción de la electricidad general a partir de fuentes de energía renovable (**Directiva 2001/77/CE**).

La definición restrictiva proviene de la directiva de grandes instalaciones de combustión (**Directiva 2001/80/CE**). Se puede decir que es la misma definición anterior, pero eliminando los residuos municipales y la madera de demolición.

- **Procedencia [3], [4]**

El término biomasa hace referencia a la materia orgánica que se produce en las plantas verdes a través del proceso de fotosíntesis, así como a la originada en los procesos de transformación de la primera, considerando tanto los que se producen de forma natural, como de forma artificial. La formación o transformación de la materia orgánica ha de ser reciente, lo que excluye del concepto a los combustibles fósiles (carbón, petróleo y gas natural), cuya formación tuvo lugar hace millones de años.

En resumen, la biomasa puede proceder de:

- Residuos agrícolas, forestales y cultivos energéticos
- Residuos de industrias forestales y agroalimentarias
- Residuos urbanos
- Residuos ganaderos

- **Tipos**

1. **Biomasa Natural [5]**

La biomasa natural es la que se produce en ecosistemas naturales.

La biomasa natural se produce sin la intervención del hombre para potenciarla o para modificarla. Se trata fundamentalmente de residuos forestales:

- Derivados de limpieza de bosques y de restos de plantaciones
- Leñas y ramas
- Coníferas
- Frondosas

2. **Biomasa residual [5]**

Es la que genera cualquier actividad humana, principalmente en los procesos agrícolas, ganaderos y los del propio hombre, como basuras y aguas residuales. Incluye los residuos forestales y

agrícolas, los residuos de industrias forestales y agrícolas, los residuos sólidos urbanos y los residuos biodegradables.

3. Excedentes agrícolas [6]

Se considera biomasa de excedentes agrícolas la que no se emplea en la alimentación humana, estos excedentes pueden ser tanto restos vegetales como animales y pueden ser utilizados tanto como combustible en plantas de generación eléctrica como transformados en Biocombustible.

4. Cultivos energéticos [7]

También se suelen denominar cultivos agroenergéticos, y son unos cultivos de plantas de crecimiento rápido destinadas únicamente a la obtención de energía o como materia prima para la obtención de otras sustancias combustibles.

2.1.1 Principales usos de la biomasa y de los combustibles fósiles

➤ **Calderas de biomasa [8], [9], [10], [12]**

Las calderas de biomasa son aquellas que utilizan combustibles naturales provenientes de fuentes renovables para su funcionamiento. Es el uso más común de la biomasa, que puede consistir en la producción de calor y/o agua caliente sanitaria.

La base de su funcionamiento es similar a cualquier otra caldera, las calderas de biomasa queman el combustible (el pellet o similar) generando una llama horizontal que entra en la caldera. El calor generado durante esta combustión es transmitido al circuito de agua en el intercambiador incorporado en la caldera, con lo que se obtiene agua caliente para el sistema de calefacción o ACS.

Principalmente existen cuatro tipos de calderas de biomasa:

- **Calderas específicas de pellets [11]**

El Pellet es madera triturada, secada y comprimida en forma de gránulos cilíndricos. Se usa normalmente como combustible en pequeñas y medianas instalaciones.

- **Calderas multicombustibles [2], [11]**

Son otra gama de calderas más versátiles y además de pellet pueden usar como combustible astillas.

Las astillas son partículas de madera obtenidas mediante un proceso de trituración. Se utilizan normalmente como combustible en instalaciones medianas y grandes.

Este tipo de calderas ya pueden estar controladas por una sonda lambda que controle la combustión, analice los gases de combustión y ayude a minimizar las emisiones contaminantes.

- **Calderas de leña [11]**

La leña es la forma tradicional de utilizar la biomasa forestal. Se trata de troncos troceados al tamaño adecuado para su uso en calderas, estufas y chimeneas.

Este tipo de calderas también suelen estar ya controladas por una sonda lambda que controle la combustión, analice los gases de combustión y ayude a minimizar las emisiones contaminantes.

- **Caldera TDS Powerfire [2]**

Admiten biomasa húmeda (hasta el 50 % de humedad) y permiten quemar varios combustibles sin necesidad de cambiar la programación de la caldera.

Igualmente disponen de sistema de análisis continuo de gases de escape, de tal forma que modifica automáticamente la entrada de aire de combustión en función del combustible que quema y del análisis de los gases de escape.

➤ **Calderas de combustibles fósiles**

- **Caldera de Gasoil [13]**

Usan gasóleo como combustible.

- **Caldera de Carbón [14], [15]**

Queman este combustible fósil para producir energía calorífica. El carbón es una roca negra rica en carbono y contiene cantidades variables de otros elementos, principalmente hidrógeno, azufre, oxígeno y nitrógeno.

- **Caldera de Gas natural [16], [17]**

Queman gas para calentar el agua que circulará por los diferentes circuitos o radiadores. Éste gas se conoce como gas natural, que es una sustancia formada por una mezcla de hidrocarburos de origen fósil (formado mayoritariamente por CH₄) que se usa como combustible, y al quemarlo libera energía en forma de calor (combustión).

➤ **Generación de energía eléctrica [18], [19]**

Las centrales de Biomasa generan energía eléctrica a partir de recursos biológicos, por lo tanto usan fuentes renovables para la producción de energía eléctrica. Aunque sea la única fuente de energía con el balance de CO₂ favorable, siempre que el consumo se haga más lentamente que la capacidad de la Tierra para regenerarse, las distintas formas de transformar la biomasa en energía producen diferentes gases contaminantes además del CO₂.

Las centrales térmicas, que generan casi el 40% de la energía eléctrica que se consume en España, y éstas son muy contaminantes como consecuencia de la quema de combustibles fósiles como el carbón o el fuel.

Los principales gases contaminantes que se pueden generar en la combustión, ya sea de la Biomasa, Gasoil, Carbón o Gas Natural son:

- Dióxido de Carbono (CO₂), gas de efecto invernadero
- Monóxido de Carbono (CO),
- Compuestos orgánicos volátiles (VOC's),
- Óxidos de Nitrógeno (NO_x),
- Dióxido de azufre (SO₂),
- SO_x (óxidos de azufre),
- Hidrocarburos inquemados (C_xH_y ó HC),
- Cenizas,
- Otras partículas: Estas partículas son partículas finas que permanecen en suspensión y son muy perjudiciales para la salud. Se dividen en dos grupos (PM10, "partículas entre 2.5 y 10 µm" y PM2.5, "Partículas inferiores a 2.5 µm"). Las más nocivas son las pequeñas porque pueden permanecer en el

aire más tiempo, viajan más lejos y pueden afectar a más partes internas del organismo.

2.2 Fuentes móviles de contaminación [1], [20], [21], [22]

Se denominan así a las distintas formas de transporte, ya sea público o privado, y destacan por ir emitiendo contaminantes en su trayectoria. Podemos citar como ejemplo más conocido el automóvil, aunque hay otros como los autobuses, camiones, barcos, u otros tipos de maquinaria móvil.

En la combustión, los combustibles se transforman básicamente en vapor de agua (H₂O), dióxido de carbono (CO₂), que no son nocivos, pero tenemos otros gases que se emiten en menores cantidades pero sí son nocivos, como el monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrógeno (NO_x), óxidos de azufre (SO_x) e hidrocarburos no quemados (HC), además de Partículas y Compuestos Orgánicos Volátiles (COV's).

Por ejemplo, la emisión de gases de los vehículos es uno de los puntos importantes que miran en las **ITV (Inspección Técnica de Vehículos)**, pues según el **Reglamento General de Vehículos (Real Decreto 2820/98)** no se deben superar ciertos límites legales de emisión de humos, gases contaminantes, ruidos y compatibilidad electromagnética. Así, en la combustión de los motores de los vehículos tenemos hasta más de 100 gases distintos, unos tóxicos y otros no. Los gases contaminantes más importantes que se revisan en las ITV son:

- Monóxido de Carbono (CO), Dióxido de Carbono (CO₂), Hidrocarburos (HC), Óxidos de Nitrógeno (NO_x), Dióxido de Azufre (SO₂) y Material Particulado (MP). Todos estos gases son tóxicos y/o contaminantes.

2.3 Calidad del aire en interiores de edificios [23], [24], [25], [26], [27], [28]

Es una aplicación interesante a tener en cuenta porque el diseño que se pretende realizar se adapta mejor a aplicaciones pequeñas que a las industriales. Una prestigiosa Universidad de Nueva York demostró que influye en el grado de inteligencia, rendimiento o que al final de la jornada podamos sentirnos agotados mentalmente. Además, una mala calidad del aire puede suponer un mayor riesgo de padecer enfermedades y/o alergias.

Así, podemos citar que el aire exterior se puede considerar como "limpio" cuando tenemos 320 ppm de CO₂, 0.1 ppm de CO, 1.5 ppm de CH₄, 0.25 ppm de N₂O, 0.001 ppm de NO₂, 0.02 ppm de ozono, 0.0002 ppm de SO₂ y 0.01 ppm de NH₃, aunque hay que matizar que estos valores aumentan en el aire urbano, por tanto estos contaminantes exteriores que en su mayor parte proceden de combustiones de los motores de los coches, calefacciones, estufas, etc. también influirán en la calidad del aire de espacios interiores. Los principales gases contaminantes que pueden estar presentes en interiores son NO₂, NO, CO, CO₂, SO₂ y COV's (Compuestos Orgánicos Volátiles), además de partículas, aerosoles biológicos y el humo del tabaco en los lugares donde se fume.

Por ejemplo en el caso del CO₂, según el RITE (Reglamento de Instalaciones Térmicas en Edificios) podemos tener una calidad el aire u otra según el IDA aplicado:

Los valores de concentración de CO₂ en el aire interior sobre el exterior ($C_{h,i} - C_{h,o}$) en función de la calidad del aire interior (IDA), se muestran en la Tabla 17.

Categoría	ppm(*)
IDA 1	350
IDA 2	500
IDA 3	800
IDA 4	1.200

* Concentración (partes por millón en volumen) por encima de la concentración en el aire exterior.

Tabla 17: Concentración de CO₂ en los locales, (Tabla 1.4.2.3 del RITE)

hoteles y similares, restaurantes, cafeterías, bares, salas de fiesta, gimnasios, locales para realizar deporte (salvo piscinas) y salas de ordenadores.

IDA₄ → Calidad de aire baja

IDA₁ → Aire de óptima calidad para hospitales, clínicas, laboratorios y guarderías.

IDA₂ → Aire de buena calidad para oficinas residenciales (locales comunes de hoteles y similares, residencias de ancianos y de estudiantes), salas de lectura, museos, salas de tribunales, aulas de enseñanza y piscinas.

IDA₃ → Aire de calidad media para edificios comerciales, cines, teatros, salones de actos, habitaciones de

3. Micro-Controlador y Sensores usados para la monitorización de gases

3.1 ¿Qué es Arduino? [29] [30] [31]

Arduino es una plataforma de hardware libre, cuyas especificaciones y diagramas esquemáticos son de acceso público ya sea bajo algún tipo de pago o de forma gratuita, está basada en una placa, es decir, un circuito impreso que se utiliza para conectar eléctricamente a través de las pistas conductoras, y sostener mecánicamente, por medio de la base, un conjunto de componentes electrónicos con un microcontrolador y un entorno de desarrollo que normalmente consiste en un editor de código fuente, herramientas de construcción automáticas y un depurador, todo esto diseñado para facilitar el uso de la electrónica en proyectos multidisciplinarios.

Lo mejor de la plataforma de prototipado Arduino es que puede ser lo que queramos que sea. Podría ser un sistema de riego de plantas automático, un servidor Web o incluso un piloto automático de cuadricóptero.

Arduino es una plataforma de desarrollo de microcontrolador unida a un lenguaje de programación intuitivo basado en C/C++ que permite desarrollar utilizando el entorno de desarrollo integrado (*Integrated development environment*, IDE) de Arduino. Equipando Arduino con sensores, activadores, luces, altavoces, módulos complementarios (denominados *shields*, que permiten añadir funciones como *Ethernet*, *Wifi*, *Xbee*, *GPRS*,...), y otros circuitos integrados, es posible convertir la plataforma en un “cerebro” programable para casi cualquier sistema de control.



Descargar e Instalar el IDE de Arduino

Una vez explicado el hardware de Arduino, debe instalarse el software en el ordenador. Podemos descargar la versión más reciente del IDE en la web oficial de Arduino en la pestaña *Download*. En el presente proyecto se trabaja con la versión Arduino 1.6.4, aunque en enero de 2016 ya existía la versión 1.6.7.

Cuando se complete la descarga, descomprimirla. Dentro se encontrará el IDE de Arduino. Ya existen versiones nuevas del IDE para Windows disponibles como instalador que se pueden descargar y ejecutar, en lugar de descargar el archivo ZIP.

Ejecutar el IDE y conectar con la Arduino

Una vez tengamos el IDE descargado y listo para ejecutar, podemos conectar la Arduino al ordenador mediante USB. Los equipos Mac y Linux “casi” instalan los controladores de forma automática, pero si usamos una Arduino moderna en un ordenador con sistema operativo Windows, es probable que se necesite instalar controladores. Si no empleamos un ordenador Windows que requiera la instalación de controladores, podemos saltarnos las siguientes instrucciones. Si hemos instalado el IDE utilizando el instalador de Windows, estos pasos ya se han llevado a cabo. Si descargamos el archivo ZIP en el equipo Windows, entonces para instalar los controladores tenemos que seguir las instrucciones que se muestran a continuación:

1. Espera a que acabe el proceso de instalación automática.

2. Abrir el menú inicio, hacer 'clic' con el botón derecho del ratón en Mi Pc (en Windows XP) o Equipo (en Windows Vista, 7 y 8) y seleccionar Propiedades.
3. Seleccionar Administrador de dispositivos.
4. Buscar en Puertos (COM & LPT) la placa Arduino que se ha conectado.
5. Hacer 'clic' con el botón derecho del ratón y seleccionar Actualizar controlador.
6. Explorar el ordenador en busca de software.
7. Seleccionar el controlador adecuado en el directorio de controladores del IDE de Arduino que acabamos de descargar (no el directorio de controladores FTDI).
8. Ahora Windows finalizará la instalación de los controladores.




Ahora, iniciamos el IDE de Arduino y podemos probar un programa para asegurarnos que todo funciona correctamente.



Antes de cargar un programa, necesitamos indicar al IDE qué tipo de Arduino se ha conectado y a qué puerto está conectada. Vamos a *Herramientas>Placa* y nos aseguramos de que está seleccionada la placa correcta (en este proyecto es la Arduino Mega o Mega 2560).

El último paso antes de programar es indicar al IDE a qué puerto está conectada la placa. Vamos a *Herramientas>Puerto serie* y seleccionamos el puerto adecuado.

En los ordenadores Windows, éste será COM*, donde * es el número que representa el número del puerto serie.

Truco: Si tenemos varios dispositivos serie conectado al ordenador, probamos a desconectar la placa para ver qué puerto COM desaparece del menú; después volvemos a conectarla y seleccionamos ese puerto.

Ya podemos cargar el programa de ejemplo haciendo 'clic' en el botón **Upload**  ( **Compile**  **Cargar**). Cuando se complete la carga, el led amarillo de la Arduino debería estar parpadeando una vez por segundo.

Una vez cargado el programa, haciendo 'clic' con el botón izquierdo del  ratón en  podemos acceder al Monitor serie.

En el sitio web oficial de Arduino podemos ver su lenguaje de referencia, que se divide en tres grandes partes:

1. Estructura
2. Valores (variables y constantes)
3. Funciones

Además, podemos ver las librerías que ya vienen por defecto en el software Arduino. Para cargar librerías distintas a las que vienen por defecto en Arduino, debemos pulsar en *Programa>Include Library* y hacer 'clic' en *Add .ZIP Library* y buscar la ruta donde tengamos guardada la librería comprimida.

3.2 Tipos de placas Arduino existentes [32] [33]

Actualmente, igual que pasa con Linux, hay multitud de microcontroladores Arduino en el mercado, con características generales comunes pero a la vez cada uno pensado para un público en concreto o para una serie de tareas específicas. Existe una gran variedad de modelos oficiales, no oficiales y compatibles, por lo que es normal que la gente no sepa diferenciar con exactitud las características concretas de cada una de ellos.

Diseño e implementación de un sistema de medida de gases con Arduino

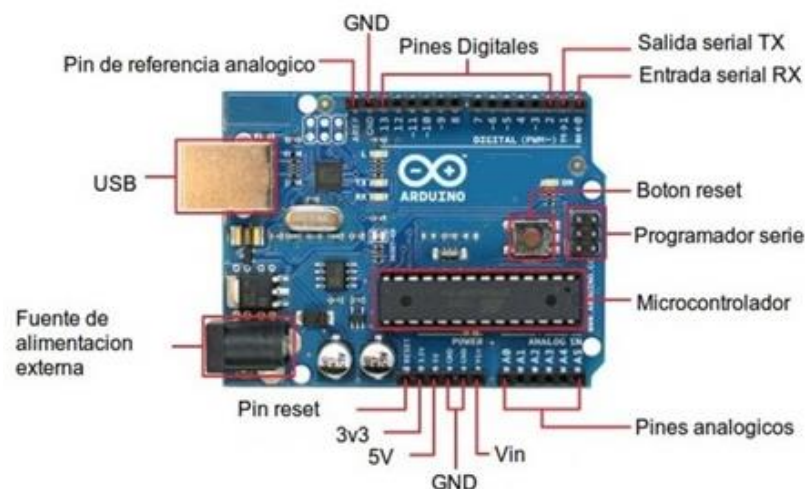
En julio de 2014, ya existían más de 16 modelos oficiales de Arduino y sumando los modelos no oficiales y compatibles puede haber cientos de microcontroladores Arduino.

El tipo de proyecto que se quiera realizar condiciona la elección de la placa Arduino, por ejemplo:

- Según el número de pines analógicos y digitales necesarios (normales y de tipo PWM para simular una salida analógica),
- Según el tamaño de código (nº de constantes y variables, que requerirán una mayor memoria flash para su almacenamiento),
- Según la RAM del microcontrolador, que afecta a la agilidad de procesamiento de Arduino
- Por último, el voltaje a nivel electrónico en muchos casos no es importante, y además con el uso de relés las placas podrían trabajar con periféricos a 230 V en alterna, aunque si se prescinde de fuente de alimentación externa debe tenerse en cuenta el voltaje que la placa puede manejar. NOTA: No hay que confundir el voltaje de trabajo del microcontrolador con el voltaje de funcionamiento de los elementos periféricos a la placa.

Una de las placas más vendidas y recomendada para la mayoría de proyectos es la Arduino UNO, ya que está disponible a buen precio y dispone de unos parámetros equilibrados, aunque en el presente proyecto se decidió usar la Arduino Mega 2560 debido a que es una versión un poco más avanzada de Arduino y actualmente está también a buen precio.

Una placa de prototipado Arduino tiene las siguientes características:



Placas Oficiales

Son todas aquellas placas fabricadas por la compañía italiana Smart Projects y algunas han sido diseñadas por la empresa estadounidense SparkFun Electronics (SFE) o también por la estadounidense Gravitech. Estas placas son reconocidas oficialmente, incluyen el logo y son las únicas que pueden llevar la marca registrada de Arduino.



En estas placas se diferencian dos tipos fundamentales de microcontroladores:

- Los de 8 y 32 bits basados en ATmega AVR.
- Los Smart basados en ARM de 32 bits, que tienen un rendimiento superior.

Ambos son creados por la compañía Atmel y para la mayoría de proyectos nos basta con un microcontrolador de 8 bits.

Existen multitud de modelos de placas oficiales, cada uno de ellos pensado para un fin y todos son compatibles con los shields y módulos oficiales y con Arduino IDE.

Placas compatibles no oficiales.

Son todas las placas compatibles con Arduino pero no pueden estar registrados bajo el nombre Arduino. Por supuesto son fabricadas por otras compañías ajenas y sus desarrollos no aportan nada al desarrollo propio de Arduino, sino que son derivados que han salido y salen para cubrir otras necesidades. Normalmente usan un nombre que integra el sufijo “duino” para diferenciarlas, por ejemplo ‘Freeduino’, ‘Boarduino’, y muchas más.

Ahora pasamos a describir tres conocidos modelos de placas oficiales, aunque en este proyecto se usará la Arduino Mega 2560 compatible, pues sus características son prácticamente idénticas a su versión original y cumple con las especificaciones requeridas.

3.2.1 Arduino UNO [34]

Es la primera placa Arduino que salió al mercado y la más extendida. Prácticamente todas las características de esta placa estarán implementadas en las demás placas Arduino. Es una placa robusta y adecuada para empezar con la electrónica y codificación de proyectos en Arduino.

Sus principales características son:

- Microprocesador ATmega328P de 8 bits a 16 MHz que funciona a 5 V. Tiene una memoria flash de 32 KB (0.5 KB los usa el gestor de arranque), una SRAM de 2 KB y una EEPROM de 1 KB.
NOTA: Si se aplican más de 500 mA al puerto USB se rompe automáticamente el fusible de conexión.
- 14 pines digitales de Entrada/Salida (6 de los cuales se pueden usar como salidas PWM).
- 6 entradas analógicas con 10 bits de resolución (Valores de 0 a 1023).
- Conector de alimentación con conexión USB, con un botón de reinicio.
- Voltaje de entrada recomendado 7-12 V y límite 6-20 V
- Corriente DC por E/S Pin = 20 mA
- Corriente DC en el Pin de 3.3 V = 50 mA
- Largo, Ancho y Peso: (68.6 mm, 53.4 mm), 25 gr

Además, algunos pines tienen funciones especiales:

- **Serial 0 (RX) y Serial 1 (TX).** Se utiliza para recibir (RX) y transmitir datos en serie (TX) TTL.
- **Interrupciones externas: 2 y 3.** Estos pines pueden configurarse para activar una interrupción en un flanco ascendente o descendente, o para un cambio de nivel. Ver la función attachInterrupt(...) para más detalles.



- **PWM: 3, 5, 6, 9, 10, y 11.** proporcionar una salida PWM de 8 bits con la función `analogWrite(...)`.
- **SPI: 10 (SS), 11 (MOSI), 12 (MISO), 13 (SCK).** Estos pines soportan la comunicación SPI utilizando la librería SPI.
- **LED: 13.** Hay un LED incorporado impulsado por pin digital 13.
- **TWI: pin A4 o SDA y A5 o pin SCL.** Comunicación TWI. Como apoyo usar la librería Wire.

3.2.2 Arduino Nano [35], [36]

Es una placa de tamaño muy reducido que permite un rápido prototipado sobre una placa board. Aunque su reducido tamaño no le quita la posibilidad de ser una placa completa, se hace necesario un cable mini-USB para alimentarla y no posee conector de alimentación externa. La diseñó la compañía Gravitech para aplicaciones de bajo coste y donde el tamaño importe. A nivel eléctrico se comporta como una Arduino UNO.

Sus principales características son:

- Microprocesador Atmel ATmega328 en sus inicios y ATmega168 después de la revisión 2.x, a 16 MHz. Tiene una memoria flash de 16 KB (ATmega168) o 32 KB (ATmega328), "2 KB son usados por el gestor de arranque"; Una memoria SRAM de 1 KB (ATmega168) o 2KB (ATmega328) y una EEPROM de 512 bytes (ATmega168) o 1 KB (ATmega328). Funciona a 5 V.
- 14 pines digitales de Entrada/Salida (6 de los cuales se pueden usar como salidas PWM)
- 8 entradas analógicas con 10 bits de resolución (Valores de 0 a 1023)
- Alimentación a través de la conexión USB Mini-B, 6-20V no regulada por fuente de alimentación externa (pin 30), o 5V con fuente de alimentación externa regulada (pin 27). La fuente de alimentación se selecciona automáticamente a la fuente de tensión más alta.
- Voltaje de entrada recomendado 7-12 V y límite 6-20 V
- Corriente DC por E/S Pin = 40 mA con una resistencia de pull-up de 20-50 K Ω (desconectada por defecto)
- Largo, Ancho y Peso: (45 mm, 18 mm), 5 gr

Además, algunos pines tienen funciones especiales:

- **Serial 0 (RX) y Serial 1 (TX).** Se utilizan para recibir (RX) y transmitir (TX) datos en serie TTL.
- **Interrupciones externas: 2 y 3.** Estos pines pueden configurarse para activar una interrupción en un flanco ascendente o descendente, o para un cambio de nivel. Ver la función `attachInterrupt(...)` para más detalles.
- **PWM: 3, 5, 6, 9, 10, y 11.** Proporcionan una salida PWM de 8 bits con la función `analogWrite(...)`.
- **SPI: 10 (SS), 11 (MOSI), 12 (MISO), 13 (SCK)** Estos pines admiten la comunicación SPI, que aunque proporcionada por el hardware subyacente, no está incluido en el lenguaje de Arduino.



- **LED: 13.** Hay un LED incorporado conectado al pin digital 13.
- **Además de pines con usos especiales:**
 - I²C: A4 (SDA) y A5 (SCL), soportan la comunicación I²C (TWI) usando la librería Wire.
 - Patilla AREF (Voltaje de referencia para las entradas analógicas, se usa con `analogReference(...)`).
 - **Reset:** Llevar a estado LOW para reiniciar el microcontrolador. Normalmente se usa para añadir un botón externo de reinicio por si se bloquea el que está en la placa.

3.2.3 Arduino Mega 2560 [37], [38]

Arduino Mega 2560 es una versión ampliada de la tarjeta original de Arduino y está basada en el microcontrolador Atmega2560. Esta placa está diseñada para proyectos más complejos pues dispone de un número mayor de Entradas/Salidas digitales y de entradas analógicas que la Arduino UNO, además de un mayor espacio de memoria. Ofrece multitud de oportunidades como por ejemplo para implementar proyectos de robótica o incluso impresoras 3D.

Sus principales características son:

- Microprocesador ATmega2560 a 16 MHz que funciona a 5 V. Tiene una memoria flash de 256 KB (8 KB los usa el gestor de arranque), una SRAM de 8 KB y una EEPROM de 4 KB.
NOTA: Si se aplican más de 500 mA al puerto USB se rompe automáticamente el fusible de conexión, aunque la mayoría de ordenadores ya incorporan esta protección.
- 54 pines digitales de Entrada/Salida (15 de los cuales se pueden usar como salidas PWM). Cada uno puede proporcionar o recibir 20 mA y tienen una resistencia de pull-up de 20 a 50 K Ω (desconectada por defecto). Para evitar daños permanentes en el microcontrolador no deben superarse los 40 mA.
- 16 entradas analógicas con 10 bits de resolución (Valores de 0 a 1023). Por defecto se mide de tierra a 5 V, aunque se puede cambiar el extremo de su rango superior usando el Pin AREF y la función `analogReference(...)`.
- Conector de alimentación con conexión USB, o con una fuente de alimentación externa. La energía externa (no por USB) puede provenir de un adaptador CA a CC o de una batería. La placa Arduino Mega 2560 es compatible con la mayoría de los shield de la Arduino UNO.
- Voltaje de entrada recomendado 7-12 V y límite 6-20 V
- Corriente DC por E/S Pin = 20 mA
- Corriente DC en el Pin de 3.3 V = 50 mA
- Largo, Ancho y Peso: (101.52 mm, 53.3 mm), 37 gr

Además, algunos pines tienen funciones especiales:

Diseño e implementación de un sistema de medida de gases con Arduino

- Serial 0 (RX) y Serial 1 (TX); Serial 1:19 (RX) y Serial 18 (TX); Serial 2:17 (RX) y 16 (TX); Serial 3:15 (RX) y 14 (TX). Los pines 1 y 2 se usan para recibir (RX) y transmitir (TX) datos en serie TTL.
- Interrupciones externas: 2 (interrupción 0), 3 (interrupción 1), 18 (interrupción 5), 19 (interrupción 4), 20 (interrupción 3), y 21 (interrupción 2). Estos Pines pueden configurarse para activar una interrupción en un nivel bajo, un flanco ascendente o descendente, o para un cambio en el nivel. Ver la función el `attachInterrupt(...)` para más detalles.
- PWM: Pines 2 a 13 y Pines 44 a 46. Proporcionan una salida PWM de 8 bits con la función `analogWrite(...)`.
- SPI: 50 (MISO), 51 (MOSI), 52 (SCK), 53 (SS). Estos pines proporcionan la comunicación SPI utilizando la librería SPI. Los pines SPI también se desglosan en la cabecera ICSP, que es físicamente compatible con el Arduino/Genuino UNO.
- Hay un LED incorporado que está conectado al pin digital 13.
- TWI: Pin 20 (SDA) y Pin 21 (SCL). Comunicación TWI utilizando la librería Wire.
- **Además de dos pines de la placa con utilidades especiales:**
 - **AREF.** Tensión de referencia para las entradas analógicas. Se utiliza con `analogReference(...)`.
 - **Reset.** Llevar a un nivel bajo, es decir, a cero voltios para reiniciar el microcontrolador. Normalmente se usa para añadir un botón de reinicio externo por si algo bloquea el botón de reinicio incorporado en la placa.



3.3 Alternativas existentes para la cuantificar gases y los sensores usados en la monitorización. [39], [40], [41]

Los detectores de gas miden e indican la concentración de ciertos gases en el aire a través de diferentes tecnologías y estos detectores pueden clasificarse según el tipo de gas que detectan (inflamable o tóxico). Antiguamente se diseñaban para detectar un único gas aunque ahora existen múltiples dispositivos multifuncionales capaces de detectar varios gases a la vez.

Actualmente, en función del tipo de gas, podemos resumir las siguientes tecnologías:

Para detección y medición de gases tóxicos:

- Sensores electroquímicos → son los más usados para la detección de gases tóxicos como por ejemplo el monóxido de carbono, cloro y óxidos de nitrógeno. Funcionan por medio de señales de electrodos cuando se detecta el gas.

- Semiconductores de óxido de metal (o MOS) → también se usan para detectar gases tóxicos (normalmente monóxido de carbono, aunque es capaz de detectar también sulfuro de hidrógeno, H₂S) y trabajan a través de una película sensible al gas, está compuesta de óxido de estaño o tungsteno. Estos sensores suelen considerarse eficientes por su capacidad para trabajar en rangos de baja humedad, además de ser capaces de detectar también gases combustibles.

Para medición de gases combustibles:

- Sensores catalíticos → representan un gran número de los dispositivos detectores de gas que se fabrican hoy en día. Se usan para detectar gases tales como hidrocarburos, funcionando a través de la oxidación catalítica. A pesar de que pueden ser calibrados para medir varios tipos de gases, el metano es el gas más común que suelen detectar. La salida de un sensor catalítico se mide mediante un dispositivo llamado puente de Wheatstone (usado comúnmente en circuitos eléctricos), que se usa para medir la resistencia eléctrica desconocida, que puede ser analizada para proporcionar la información adecuada en relación con los gases presentes.
- Sensores de infrarrojos o detectores de IR → funcionan a través de un sistema de transmisores y receptores para detectar gases combustibles (concretamente vapores de hidrocarburos). Si el gas está presente en la trayectoria óptica, se interfiere el poder de transmisión de luz entre el transmisor y el receptor. La alteración del estado de la luz determina si hay gas y además qué tipo de gas está presente. Estos sensores en lugar de depender de un puente de Wheatstone para medir la diferencia de la resistencia eléctrica, emplean una lámpara de fuente de infrarrojos y un filtro de longitud de onda.

Otra tecnología de amplia utilización y que ofrece una gran capacidad de separación para el análisis de compuestos volátiles, los cuales pueden ser gases tóxicos o inflamables, es la cromatografía de gases.

La cromatografía de gases permite el análisis cuantitativo de los componentes gaseosos de una mezcla. Se hace pasar una muestra de gas por una columna cromatográfica, recubierta internamente por la llamada fase estacionaria. Este recubrimiento interacciona de forma distinta con cada componente de la mezcla gaseosa, reteniéndolos con distinta intensidad. De esta manera se produce la separación de los gases de la mezcla. Después de la columna, un detector cuantifica cada uno de ellos. Los detectores pueden ser de muy diversos tipos: de ionización de llama, de conductividad térmica, etc.

El coste de equipos comerciales de medida simultánea de varios gases puede ser de decenas de miles de euros.

Como ya se ha detallado en la introducción, este proyecto se centra en la medición de determinados gases y la temperatura. Para medir una diversa cantidad de gases se encontró una familia de **sensores electroquímicos** que son económicos, fáciles de conseguir y su montaje es simple aunque a cambio se deben calibrar y calcular los parámetros necesarios que permitan obtener la concentración del gas determinado a partir de la lectura analógica del sensor. Pasamos a dar una visión global de este tipo de sensores y después se explicarán en detalle los que se usan en este proyecto.

3.3.1 Resumen de los distintos tipos de sensores MQ existentes en el mercado. [42] a [59]

Existe una gran cantidad de sensores MQ (MQ-2, MQ-3, MQ-4,...), son baratos y capaces de medir una gran cantidad de gases (por ejemplo Propano, Metano, Butano, LPG, Humo, Alcohol, Etanol, Gas natural, Hidrógeno, Monóxido de carbono, Gases inflamables, Ozono, Benceno, Sulfuro de hidrógeno, Amoníaco, Tolueno, Acetona, etc...). Diferentes sensores pueden medir el mismo tipo de gas (por ejemplo el alcohol lo pueden detectar los sensores MQ-2, MQ-3 y MQ-5) aunque se debe saber que cada uno detecta unos rangos distintos, tanto para este gas como para el resto de gases. Pese al abanico de modelos todos ellos se conectan y usan de la misma forma, por lo que habrá explicaciones que serán comunes en todos ellos.

Son adecuados para detección de fugas de gas en casas, talleres, edificios comerciales, sistema de seguridad para detección contra incendios, monitorización de gases contaminantes, etcétera. Otras características importantes es que tienen alta sensibilidad, respuesta rápida, son capaces de detectar un amplio rango, su funcionamiento es estable, tienen larga vida y el circuito de accionamiento es simple.

Pasamos a detallar algunos de ellos:

Sensor	Gases que puede detectar	Rango de detección (ppm)
MQ-2	Hidrógeno	300-5000
	LPG y Propano	200-5000
	Metano	5000-20000
	Monóxido de carbono	No especificado
	Alcohol	100-2000
MQ-3	Alcohol	25-500
	Benceno, Metano, Hexano, LPG y CO	No especificado
MQ-4	Metano	200-10000
	Hidrógeno, Monóxido de carbono, Alcohol y Humo	No especificado
MQ-5	LPG y Gas natural (butano, propano, gas ciudad)	200-10000
	Hidrógeno, Monóxido de carbono y Alcohol	No especificado
MQ-6	LPG	200-10000
	Hidrógeno, Metano, Monóxido de carbono y Alcohol	No especificado
MQ-7	Monóxido de Carbono	20-2000
	Hidrógeno, LPG, Metano y Alcohol	No especificado
MQ-8	Hidrógeno	100 - 10000
	LPG, Metano, Monóxido de carbono y Alcohol	No especificado
MQ-9	LPG	500-10000
	Monóxido de carbon	20-2000
	Metano	500-10000
MQ-131	NOx y CL2	No especificado
	O ₃	10ppb – 2 ppm
MQ-135	Amoniaco	100-300
	Alcohol	10-300
	Benceno	10-1000
	NOx, Humo y Dióxido de carbono	No especificado
MQ-136	Monóxido de carbono y Amonio	No especificado
	Sulfuro de hidrógeno	1-100
MQ-137	Monóxido de carbon	No especificado
	Amoniaco	5 - 200
MQ-138	Benceno y Alcohol	10 - 1000
	Amoniaco	10 - 3000
	Metano, Monóxido de carbono y Propano	No especificado

Como ya se especifica en la introducción, en este proyecto se usan detectores para la medición de Metano (CH₄), Monóxido de Carbono (CO), y Dióxido de Carbono (CO₂), además de la temperatura. Todos estos gases se pueden medir usando los sensores MQ-4, MQ-7 y el MQ-135, los cuales se pasa a detallar más adelante. Para poder medir altas temperaturas se hará uso de un termopar.

Puesta en marcha y calibración de los sensores MQ

Antes de empezar a tomar medidas fiables de estos sensores tenemos que hacer un proceso de puesta en marcha y calibración de los mismos, este proceso consta de dos partes: El pre-calentamiento y la calibración propiamente dicha.

La primera fase es la de **pre-calentamiento**, para ello tenemos que dejar nuestro sensor conectado a su alimentación (las patillas 5V y GND) durante 24 horas de forma ininterrumpida (incluso hasta 48 horas como en el caso del MQ-7). Este proceso sirve para eliminar cualquier resto de humedad o contaminación del proceso de fabricación y debe hacerse únicamente una vez.

A continuación viene el **proceso de calibración**. Este proceso es necesario si queremos lecturas precisas, y consiste en detectar qué desviación tiene nuestro sensor respecto a la realidad y aplicarlo a la hora de calcular las lecturas.

La salida analógica de estos sensores es una tensión variable que se mide a través de una resistencia de carga. La parte difícil es que la relación entre la salida del sensor y la concentración del gas que medimos usando la hoja de características es en relación con una temperatura estándar de 20 °C y 65 % de humedad relativa. Se proporciona información sobre la sensibilidad del sensor en otras dos condiciones ambientales (con un 33% y un 85 % de humedad relativa). En este proyecto usamos una alternativa que consiste en calibrar el sensor en un entorno conocido (ppm del gas en cuestión).

Una vez pre-calentados los sensores se calibrarán durante varios minutos, en este proyecto concretamente 5 minutos, realizando mediciones de la salida analógica cada cierto tiempo, tal y como se detallará en cada uno de los sensores que se explican a continuación.

Ya calculado todo, este tipo de sensores necesitará estar conectado a tensión un mínimo de 3 minutos (comprobado con el sensor MQ-2) para que empiece a darnos medidas fiables.

3.3.2 Sensor MQ-4 [45], [60], [61]

▪ Introducción

Este sensor es capaz detectar Gas Metano (Gas Natural) en el aire, tiene una alta sensibilidad y un tiempo de respuesta rápido. La salida del sensor tiene una resistencia analógica.

Sus principales características son:

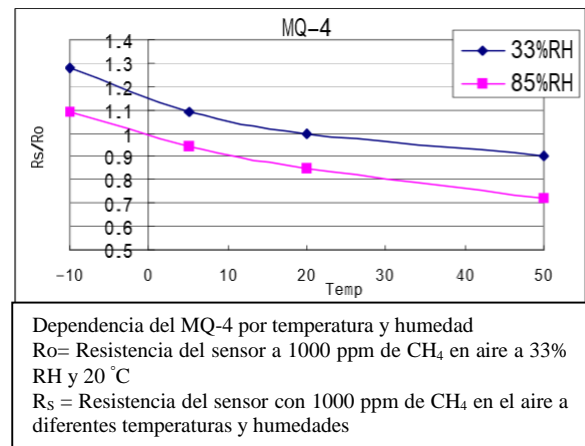
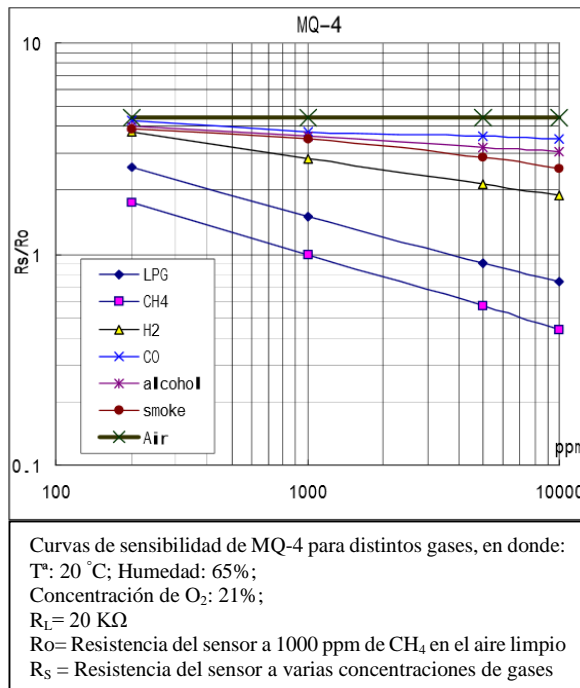
- Alimentación a 5V DC
- Temperatura de funcionamiento: -10 a 50 °C
- Consumo de potencia menor a 900 mW
- Concentraciones que puede detectar: 200 hasta las 10000 ppm de CH₄
- Sensibilidad: $R_s(\text{aire}) / R_s(1000\text{ppm C}_4\text{H}_{10}) > 5$
- Lleva integrado un amplificador LM393 con ganancia variable mediante potenciómetro.

- Alta sensibilidad al Gas Metano (Gas Natural), Monóxido de carbono (CO), etc.
- Funcionamiento estable, larga vida, coste bajo

▪ Calibración y medición de la concentración CH₄

El valor de resistencia del MQ-4 es diferente a varios tipos de gases y concentraciones de gases. Se recomienda calibrar el detector para 5000 ppm de concentración de CH₄ en el aire y usar un valor de Resistencia de carga (R_L) sobre 20 KΩ (10 KΩ a 47 KΩ).

La gráfica muestra las curvas características de cada gas y se usa para convertir la lectura de la salida analógica del sensor a ppm.



La gráfica de la izquierda, teniendo en cuenta las escalas, se puede ajustar a una función de potencia del tipo $y = a \cdot x^b$, que en este caso queda de la siguiente manera:

$$\frac{R_s}{R_o} = a \cdot (ppm)^b \rightarrow$$

$$\rightarrow \left(\frac{R_s}{R_o} \right) = (ppm)^b \rightarrow ppm = \left(\frac{\left(\frac{R_s}{R_o} \right)}{a} \right)^{1/b}$$

Tomando varios puntos X_i, Y_i a partir de la curva de la gráfica correspondiente al CH₄ y haciendo una aproximación por mínimos cuadrados podemos obtener el factor de escala y el exponente para el gas que queríamos medir, en este caso Metano.

Usando una relación entre la resistencia real que tenga el sensor y la resistencia que debería tener el sensor en aire limpio teniendo en cuenta la

relación $\frac{R_s}{R_o}$ para 1000 ppm de CH₄, donde R_s es la resistencia del sensor y R_o es la resistencia del sensor a 1000 ppm de CH₄ en aire limpio.

$$R_{s_mq4} = \left(\frac{V_c}{V_o} - 1 \right) * R_L,$$

Siendo:

- V_c la tensión de alimentación del sensor, 5 Voltios
- V_o la tensión de salida del sensor cuando se lee la salida analógica,

$$V_o = adc \cdot \frac{5}{1023}$$

- R_L la resistencia de carga

Los valores de a y b son (Ver anexo nº 1):

$$a = 11.92547341$$

$$b = - 0.35714261$$

Analizando la hoja de características del sensor se puede ver que la resistencia de salida del sensor MQ-4 varía entre 10 KΩ y 60 KΩ. Así, R_s = 10 KΩ significa que no tenemos CH₄ (aire limpio) y R_s = 60 KΩ significa que tenemos 10000 ppm de CH₄.

Para que $\frac{R_s}{R_o} = 1$ (ver la gráfica de sensibilidad del MQ-4), como R_s = 10 KΩ en aire limpio (sin CH₄), la R_o ha de valer también 10 KΩ para cumplir con la expresión anterior, lo que significa que R_{o_Clean_Air_Factor} = 10 KΩ

Entonces,

$$r_o = \left(\frac{R_{s_Media}}{R_{o_Clean_Air_Factor}} \right)$$

Por eso, si queremos calibrar el sensor necesitamos “sólo” una cantidad conocida del gas cuya concentración queremos medir, entonces ya podemos leer el valor de salida de la resistencia del sensor (R_s) y podemos calcular el valor de R_o calibrado.

Para obtener la resistencia media de salida del sensor una vez precalentado, calcularemos la R_s del sensor cada segundo durante 5 minutos y el valor medio obtenido nos servirá para calcular la resistencia de sensor a 1000 ppm de CH₄ en aire limpio.

$$R_{s_Media} = \frac{\sum^n R_s}{n}$$

Siendo:

$$R_s \rightarrow \text{Resistencia del sensor, } R_s = \left(\frac{V_c}{V_o} - 1 \right) \cdot R_L$$

V_c → Tensión de alimentación del sensor, 5 V

V_o → Voltaje que cae en la resistencia de carga conectada a la salida

$$\text{analógica. } V_o = V_{RL} \cdot \left(\frac{V_c}{1023} \right)$$

V_{RL} → Lectura de la salida analógica a la que esté conectado el sensor,

R_L → Resistencia de carga, según la hoja de características poner 20 KΩ,

n → número de lecturas realizadas durante la calibración del sensor.

Antes de usar el sensor de Metano MQ-4 se compró el sensor TGS2611, es económico y también sirve para medir ppm de metano en un rango de 500 a 10000 ppm y su alimentación es también a 5 V, por lo que era adecuado para trabajar en la placa Arduino.

Se descartó su uso debido a la absoluta falta de información acerca de su calibración y medición de las ppm.

3.3.3 Sensor MQ-7 [48], [62], [63], [64], [65], [66], [67], [68], [69], [70], [71]

▪ Introducción

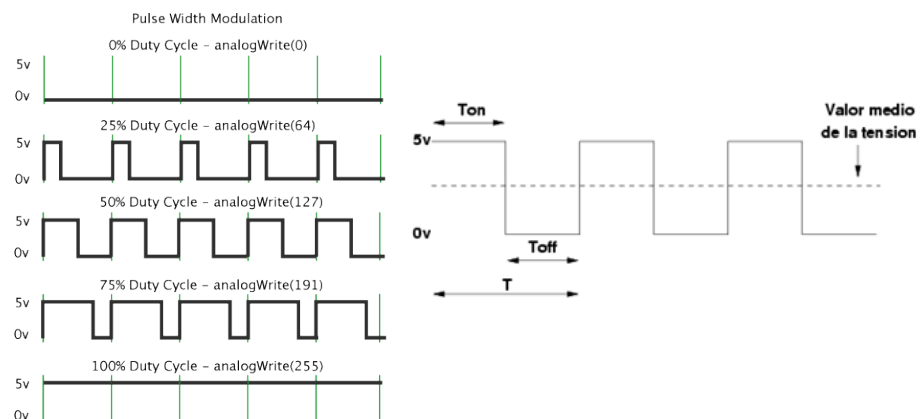
Este es un sensor fácil de usar para la detección de Monóxido de Carbono (CO), ideal para detectar concentraciones de CO en el aire. El MQ-7 puede detectar concentraciones en el rango de 20 a 2000 ppm.

Este sensor tiene una alta sensibilidad y un corto tiempo de respuesta. La salida de este sensor es un valor analógico. El circuito para hacerlo funcionar es muy sencillo: todo lo que necesitas es proporcionarle 5V, añadir una resistencia de carga y conectar la salida a una entrada ADC de la placa.

Este sensor tiene una peculiaridad en su calibración:

- El precalentamiento dura más de 24 horas, en este sensor son necesarias 48 horas.
- Una vez precalentado solamente se obtendrá una lectura precisa cada 150 segundos (2,5 minutos).
- El ciclo regular requiere 60 segundos de calentamiento a 5 V seguido de 90 segundos a 1,4 V antes de tomar una lectura y reiniciar el ciclo, este proceso durará 5 minutos.

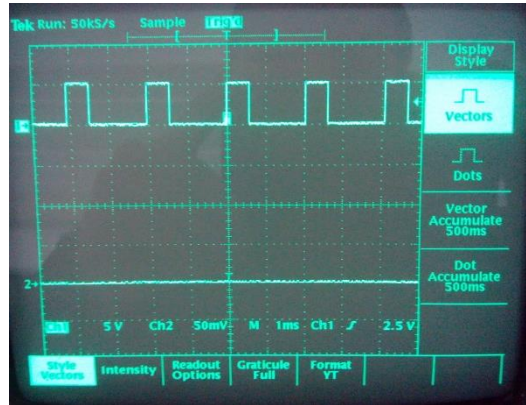
Ahora debe tenerse en cuenta que obtener 5 V de tensión continua desde la placa Arduino es sencillo, aunque los 1.4 V de tensión continua ya no se obtienen directamente, usando una salida PWM podemos tener una tensión media de 1.4 V pero ésta no es continua, sino que proviene de una tensión de onda cuadrada que oscila entre 0 y 5 V y cuya tensión media dependerá del ciclo de trabajo.



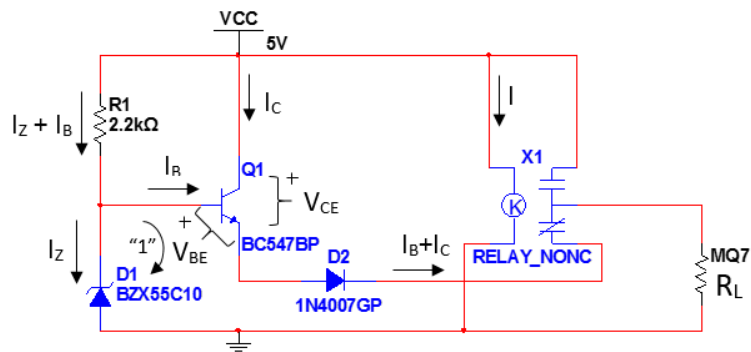
La modulación por ancho de pulsos (o PWM, de pulse-width modulation en inglés) es una eficiente forma de simular mediante una señal digital un amplio rango de valores analógicos.

El valor medio es: $V_m = \frac{T_{ON}}{T}$, siendo T_{ON} el tiempo que la señal está a nivel alto y T el periodo de la señal ($T_{ON} + T_{OFF}$).

Usando una salida PWM de Arduino se puede modificar el ciclo de trabajo de la fuente de energía, para ello se usa la función `analogWrite(...)`. Esta función admite dos argumentos: el primero el número de pin digital que permite una salida PWM y segundo un valor entre 0 y 255 que nos marcará el ciclo de trabajo (0 será el 0% y 255 un 100% de ciclo de trabajo). Así, usando la función `analogWrite(pin,255)`, nos dará una tensión de 5 V, mientras que `analogWrite(pin,72)` nos dará una tensión media de 1.4 V. No obstante, debe tenerse en cuenta que es una tensión media, por lo que al leer la salida analógica habrá ocasiones en que la tensión de salida real tenga un valor de 5 V y en otras un valor de 0 V, invalidando las lecturas.



Para evitar este problema y poder alimentar el sensor a una tensión de 5 V o una tensión de 1.4 V de forma continua usaremos el circuito que corresponde al transistor como generador de corriente, añadiendo un relé que trabaje a 5 V que permita conmutar ambas tensiones en los tiempos adecuados mediante la programación en Arduino.



$$T_{ACTIVA} \Rightarrow \begin{cases} I_C = \beta \cdot I_B \Rightarrow I_B = \frac{I_C}{\beta} \xrightarrow{\text{CONDICIÓN}} V_{CE} > V_{CE} \text{ "SAT"} \\ V_{BE} = V_{BE} \text{ "Dato"} \end{cases}$$

$$Z \text{ on Zener} \Rightarrow \begin{matrix} \text{Zener} \\ \text{Dato} \end{matrix} \xrightarrow{\text{CONDICIÓN}} \underbrace{I_{Z \text{ Min}}}_{1\text{mA}} \leq I_Z \leq \underbrace{I_{Z \text{ Max}}}_{5\text{mA}}$$

$$I_C + I_B = I_C + \frac{I_C}{\beta} \Big]_{\beta \gg 10} \approx I_C$$

$$V_{CC} = V_{CE} + R_L \cdot I_C \Rightarrow I_C = \frac{V_{CC} - V_{CE}}{R_L} \neq \text{Cte porque } V_{CE} \neq \text{Cte}$$

$$\text{Planteando malla "1"} \quad \begin{matrix} \text{Zener} \\ \text{Dato} \end{matrix} \equiv \begin{matrix} \text{Zener} \\ \text{Dato} \end{matrix}$$

$$0 = -V_{Z \text{ "Dato"}} + V_{BE} + R_L \cdot I_C \Rightarrow I_C = \frac{V_{Z \text{ "Dato"}} - V_{BE}}{R_L} = \frac{V_{Z \text{ "Dato"}} - V_{BE \text{ "Dato"}}}{R_L}$$

Diseño e implementación de un sistema de medida de gases con Arduino

Se debe poner una R_1 que permita que por el diodo Zener circule una intensidad mínima de 1 mA y una máxima de 5 mA, para que el diodo trabaje en su zona Zener, según su hoja de características.

$$\left. \begin{aligned} I_{Z\text{Mín}} &= \frac{V_{CC} - V_{Z\text{Dato}'}}{R_1} = \frac{5 - 2.7}{R_1} \geq 1 \cdot 10^{-3} \text{ A} \Rightarrow R_1 \leq 2300\Omega = 2.3 \text{ K}\Omega \\ I_{Z\text{Máx}} &= \frac{V_{CC} - V_{Z\text{Dato}'}}{R_1} = \frac{5 - 2.7}{R_1} \leq 5 \cdot 10^{-3} \text{ A} \Rightarrow R_1 \geq 460\Omega \end{aligned} \right\} \text{ Ponemos una } R_1 = 2.2 \text{ K}\Omega$$

▪ Calibración del sensor y mediciones de CO

El valor de resistencia del MQ-7 es distinto para varios tipos y concentraciones de gases. Se recomienda que se calibre el sensor para 200 ppm de concentración de CO en el aire y usar un valor de Resistencia de carga (RL) sobre 20 K Ω (5 K Ω a 47 K Ω).

La salida analógica del sensor corresponde a un voltaje, V_o . ($V_o = \text{adc} \cdot 5.0 / 1023$). Tenemos una resistencia de carga R_L de 10 K Ω conectada en serie con una resistencia de protección R_p incorporada en el sensor, formando así un divisor de tensión. Por lo tanto, la tensión de salida del sensor está relacionada con un divisor de tensión:

$$V_o = R_L \cdot \frac{V_c}{R_s + R_L} \quad \text{Despejo } R_s \rightarrow R_s = (V_c - V_o) \cdot \frac{R_L}{V_o} = \left(\frac{V_c}{V_o} - 1 \right) \cdot R_L$$

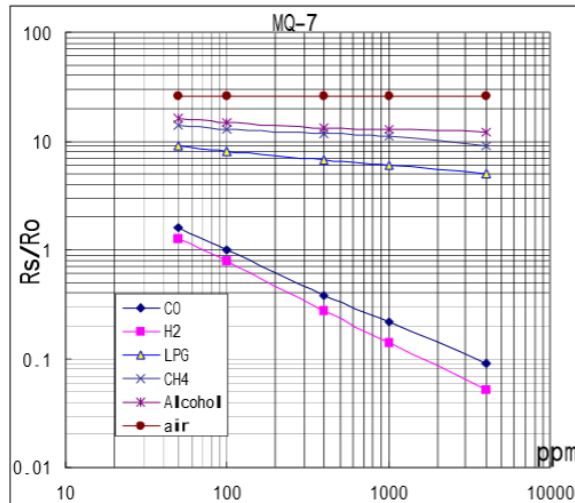
Calibraremos el sensor en aire limpio (sin CO) midiendo la salida analógica del sensor la que corresponde a un valor de tensión y un valor de resistencia de salida y después calculamos el valor de la R_o del sensor:

$$R_o = \frac{R_s}{R_o_Clean_air_factor}$$

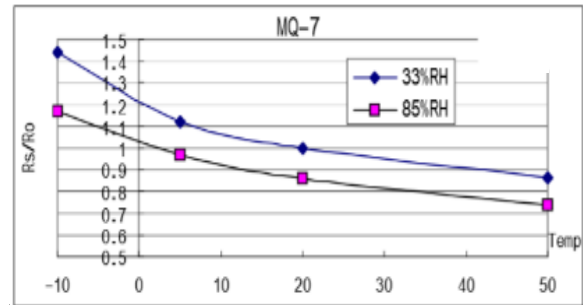
$$\text{Como} \quad R_s = \left(\frac{V_c}{V_o} - 1 \right) \cdot R_L \quad \rightarrow$$

$$R_s_Media = \frac{\sum_1^n R_s}{n} = \frac{\sum_1^n \left(\frac{V_c}{V_o} - 1 \right) \cdot R_L}{n}$$

$$R_o = \frac{R_s_Media}{R_o_Clean_air_factor}$$



Curvas de sensibilidad del MQ-7 para distintos gases, en donde:
 Tª: 20 °C; Humedad: 65%;
 Concentración de O₂: 21%;
 R_i = 10 KΩ
 R_o = Resistencia del sensor a 100 ppm de CO en el aire limpio
 R_s = Resistencia del sensor a varias concentraciones de gases



Dependencia del MQ-7 por temperatura y humedad
 R_o = Resistencia del sensor a 100 ppm de CO en aire a 33% RH y 20 °C
 R_s = Resistencia del sensor con 100 ppm de CO en el aire a diferentes temperaturas y humedades

La gráfica de características de sensibilidad se usa para convertir la salida del sensor a una relación de ppm.

La gráfica muestra unas funciones de potencia del tipo $y = a \cdot x^b$
 Siendo "y" el eje de ordenadas y "x" el eje de abscisas.

Entonces,

$$\frac{R_s}{R_o} = a \cdot (ppm)^b \rightarrow \left(\frac{R_s}{R_o}\right) = a \cdot (ppm)^b \rightarrow ppm = \left(\frac{\left(\frac{R_s}{R_o}\right)}{a}\right)^{\frac{1}{b}}$$

Mediante un ajuste por mínimos cuadrados, podemos obtener el factor de escala "a" y el exponente "b" para el gas que queremos medir.

R_o es la resistencia del sensor a 100 ppm de CO en aire limpio.

Los valores de a y b son (Ver anexo nº 1):

$$a = 20.6690525600$$

$$b = - 0.656039042$$

La hoja de características dice que R_s = (2 KΩ ... 20 KΩ), en 100 ppm de CO.

2 KΩ ----- 20 ppm

X KΩ ----- 100 ppm

Quiere decir que R_s = 2 KΩ significa que tenemos 20 ppm CO, para saber la R_s en 100 ppm de CO aplicamos la regla de tres y nos sale R_s = 10 KΩ.

Para que $\frac{R_s}{R_o} = 1$ (ver la gráfica), como R_s = 10 KΩ necesariamente la R_o ha de valer también 10 KΩ. Lo que significa que R_{o_Clean_air_factor} = 10 KΩ

Para calcular la resistencia media de salida una vez precalentado el sensor aplicaremos cíclicamente una tensión de 5 V durante 60 segundos y luego bajamos la alimentación a 1.4v durante 90 segundos más. Al cabo de ese

tiempo es cuando se puede leer la salida analógica del sensor para calcular la resistencia del sensor, R_s . Este proceso se repetirá durante 5 minutos. Así tenemos:

$$R_s_Media = \frac{\sum^n R_s}{n}$$

Siendo:

$$R_s \rightarrow \text{Resistencia del sensor, } R_s = \left(\frac{V_c - V_o}{V_o} \right) \cdot R_L = \left(\frac{V_c}{V_o} - 1 \right) \cdot R_L$$

$V_c \rightarrow$ Tensión de alimentación del sensor, midiendo al final de los 90 segundos $V_c=1.4$ V

$V_o \rightarrow$ Voltaje que cae en la resistencia de carga conectada a la salida analógica. $V_o = V_{RL} \cdot \left(\frac{V_c}{1023} \right)$

$V_{RL} \rightarrow$ Lectura de la salida analógica a la que esté conectado el sensor,

$R_L \rightarrow$ Resistencia de carga, según la hoja de características poner 10 K Ω ,

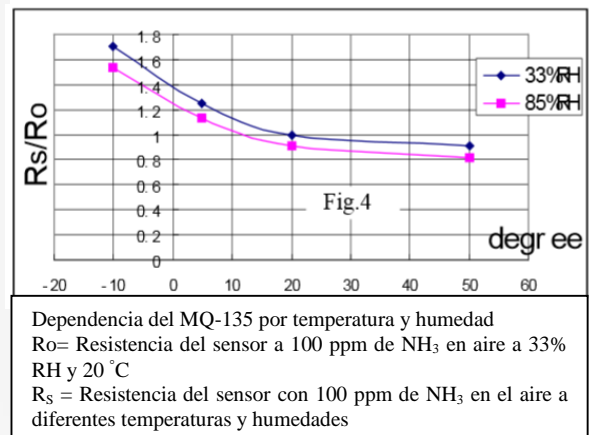
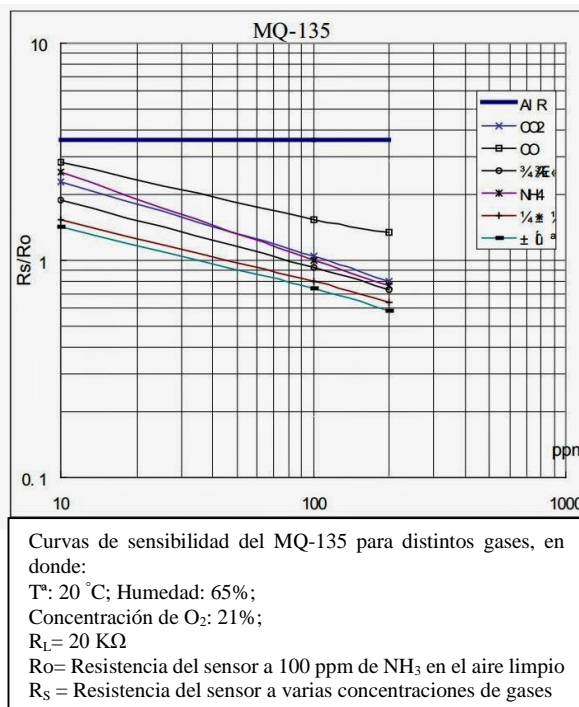
$n \rightarrow$ número de lecturas realizadas durante la calibración del sensor.

3.3.4 Sensor MQ-135 [52], [72], [73], [74]

■ Introducción

Este sensor se usa en equipos de control de la calidad del aire en edificios y oficinas, y es adecuado para detección de NH₃, Alcohol, Benceno, humo, CO₂, etc. En este proyecto lo calibraremos y usaremos únicamente para la medición de CO₂.

■ Calibración y medición de la concentración de CO₂



La gráfica de la izquierda, teniendo en cuenta las escalas, se puede ajustar a una función de potencia del tipo $y = a \cdot x^b$, que en este caso queda de la siguiente manera:

$$\frac{R_s}{R_o} = a \cdot (ppm)^b \rightarrow$$

$$\rightarrow \left(\frac{R_s}{R_o} \right) = (ppm)^b \rightarrow ppm = \left(\frac{\left(\frac{R_s}{R_o} \right)}{a} \right)^{\frac{1}{b}}$$

Tomando varios puntos X_i, Y_i a partir de la curva de la gráfica correspondiente al CO_2 y haciendo una aproximación por mínimos cuadrados podemos obtener el factor de escala y el exponente para el gas que queríamos medir, en este caso dióxido de carbono.

Los valores de a y b son (Ver anexo nº 1):

$$a = 5.5973021420$$

$$b = -0.365425824$$

Entonces tenemos,

$$R_o = \left(\frac{R_s}{a \cdot ppm^b} \right)$$

Por eso, si queremos calibrar el sensor necesitamos "sólo" una cantidad conocida del gas cuya concentración queremos medir, entonces ya podemos leer el valor de la salida analógica y calcular la resistencia del sensor (R_s) con la que podemos calcular el valor de R_o calibrado.

Conociendo la cantidad actual del gas CO_2 en la atmósfera, (ver [74]), podemos usar esto como referencia para la calibración.

$$\text{Así tenemos } R_o = \left(\frac{R_s \text{ _ Media}}{a \cdot (ppm \text{ _ } CO_2 \text{ " now" })^b} \right)$$

Para obtener la resistencia media del sensor pasado el tiempo de precalentamiento calcularemos la resistencia del sensor cada segundo durante 5 minutos y el valor medio obtenido nos sirve para calcular la resistencia de salida del sensor sabiendo la cantidad conocida de gas CO_2 .

$$R_s \text{ _ Media} = \frac{\sum_1^n R_s}{n}$$

Siendo:

$$R_s \rightarrow \text{Resistencia del sensor, } R_s = 1024 \cdot \left(\frac{R_L}{adc} \right) - R_L,$$

$V_c \rightarrow$ Tensión de alimentación del sensor, $V_c = 5 \text{ V}$,

$adc \rightarrow$ Voltaje digital de salida que se obtiene al leer la salida analógica a la que está conectado el sensor.

$R_L \rightarrow$ Resistencia de carga, según la hoja de características poner $20 \text{ K}\Omega$,

$n \rightarrow$ número de lecturas realizadas durante la calibración del sensor.

3.3.5 Termopar Tipo K [75], [76], [77], [78], [79], [80], [81], [82], [83], [84]

▪ Introducción

Un termopar es un transductor formado por la unión de dos metales distintos que produce una diferencia de potencial muy pequeña (del orden de milivoltios), que es función de la diferencia de temperatura entre uno de los extremos llamado “punto caliente” y el otro llamado “punto frío” o “referencia”.

Algunas de las principales ventajas de los termopares son:

- Está autoalimentado
- Es robusto
- Es económico
- Tienen amplia variedad de formas físicas
- Son capaces de medir una amplia gama de temperaturas

Aunque no todo son ventajas. Así podemos destacar una serie de desventajas como las siguientes:

- No es lineal
- Baja tensión
- Precisa referencia
- Es menos estable y menos sensible que otros tipos de sensores

Para conocer el tipo de termopar que tenemos (K, E, J, T,...) hay que mirar el color de los 2 cables que salen de éste (Ver anexo número 2). Cada uno de ellos puede medir un rango de temperaturas determinado y tiene una sensibilidad concreta. El termopar usado en este proyecto es de tipo K, “Niquel-Cromo” (Cables verde y blanco), y es capaz de medir temperaturas desde -200 °C hasta 1250 °C.

▪ Medición de la temperatura usando un termopar

Para poder medir la temperatura además de tener que enfrentarnos a la compensación de unión fría, el instrumento que usamos para medir debe enfrentarse al hecho de que la energía generada por un termopar no es una función lineal de la temperatura, por lo tanto no se puede convertir por regla de tres.

Hay varias opciones para medir la temperatura en un termopar:

- Buscar una tabla de valores del termopar que usamos (en este caso tipo K, por ejemplo en [76]), luego introducir los valores en un array o estructura de milivoltios y temperaturas, después leer con el ADC del Arduino el valor del termopar en milivoltios y convertirlo a temperatura. Resolución de 10 bits.
- Una opción barata y sencilla es hacer uso de chips específicos que hacen la conversión directamente con compensación del punto frío, por ejemplo el MAX6675 (resolución de 12 bits) o el MAX31855 (resolución de 14 bits, 0.25 °C) para termopares tipo K, para los cuales existen librerías en Arduino. Usan una comunicación SPI.

En este proyecto se decidió hacer uso del MAX31855 porque es una solución económica y con suficiente exactitud para el objetivo de este proyecto, además de permitir lecturas de temperaturas más elevadas que el MAX6675. Pasamos a detallarlo a continuación.

▪ **Chip MAX31855**

El MAX 31855 realiza la compensación de unión fría y digitaliza la señal de termopares de tipo K, J, N, T, S, R ó E. Este chip se puede alimentar desde 3.3 V a 5 V (igual que la placa Arduino y los sensores de gas utilizados). Los datos de salida tienen una resolución de 14 bits y sólo permite comunicación tipo SPI (requiere 3 pines digitales de Entrada/Salida). Se pueden obtener temperaturas con una resolución de 0.25 °C en un rango de -200 °C a 700 °C para termopares tipo K, aunque permite lecturas desde -270 °C hasta 1800 °C.

Para poder implementarlo en Arduino es necesario incluir la librería SPI, disponible en el propio programa de Arduino buscando en “*Programa –Include Library – SPI*”, y la librería del MAX31855, disponible en [83] o en [84].

Los pines que tiene son los siguientes:

- SO → Módulo de salida serie. La Arduino leerá esta salida. (Pin digital 5)
- CS → Selección del chip. Ajustado a nivel bajo, selecciona el módulo y le dice que suministra una salida que se sincroniza con el reloj. (Pin digital 6)
- SCK → El reloj serie, y entrada de nuestro Arduino. (Pin digital 7)
- Vcc → Alimentación (puede ir de 3.3 a 5 V).
- GND → Tierra.
- - (o minus) → Entrada “-” del termopar.
- + (o plus) → Entrada “+” del termopar.



- **Consideraciones sobre el ruido**

Debido a los pequeños niveles de señal involucrados, la medición de temperatura con el termopar es susceptible a que la fuente de alimentación tenga ruido acoplado. Los efectos del ruido sobre la fuente de alimentación pueden minimizarse colocando un condensador de bypass de 0.1 microFaradios entre cerca del pin Vcc de la placa y a GND.

El amplificador de entrada del chip es un amplificador de bajo ruido y permite una detección de alta precisión. Aunque se recomienda tener el termopar y la conexión de cables alejado de fuentes de ruido eléctrico, es muy recomendable añadir un condensador de 10 nF colocado entre las patillas de T+ y T- con la finalidad de filtrar el ruido en las entradas al termopar.

En este proyecto se han colocado ambos condensadores porque sin ellos los resultados no eran fiables.

- **Consideraciones térmicas**

Un calentamiento espontáneo del chip puede influir en la exactitud de la medición en algunas aplicaciones. Estos errores pueden depender del montaje, los efectos del flujo de aire, etc. Se recomienda tener aislado el dispositivo para tener una mayor precisión en su medida, por lo que se recomienda:

- Usar un cable grande que no transmita calor desde la zona de medición.
- Si se usa cable pequeño, usarlo solo en la región de medida y usar un cable de extensión que no tenga gradiente de temperatura.
- Evitar estrés mecánico y vibraciones que puedan deformar los cables.
- Si se usan cables largos en el termopar, usar cable de extensión de par trenzado.
- Evitar bruscos gradientes de temperatura.
- Usar cables del termopar dentro de su rango de temperaturas.
- En ambientes hostiles o adversos revestir los cables del termopar.
- Usar cables de extensión sólo a bajas temperaturas y en regiones con pequeños gradientes.

4. Procesamiento de datos de los sensores

Ahora pasamos a detallar un software llamado Processing que se usará para poder grabar automáticamente en un documento de texto los resultados de las calibraciones de los sensores y otro programa llamado Netbeans que nos permitirá pasar las mediciones de los sensores a un documento Excel para poder crear gráficos, calcular estadísticas o lo que el usuario desee.

4.1 Processing

4.1.1 ¿Qué es Processing? [85], [86], [87], [88]

Processing es una herramienta basada en Java, orientada para crear imágenes, animaciones e interacciones, para hacer que la adquisición de datos sea visualmente más atractiva y útil que en el caso de Arduino. Además se puede trabajar con él en GNU/Linux, Mac OS X y Windows. Puede descargarse gratuitamente desde su página web oficial [85]. Este programa tiene incluidas más de 100 bibliotecas o librerías que permiten ampliar sus utilidades [86], hay multitud de tutoriales (o videotutoriales) en su web oficial que van explicando las lecciones paso a paso [87] además de en muchas otras páginas web y por último está bien documentado en muchos libros, como por ejemplo los que se recomiendan en su web oficial [88].

4.1.2 Comunicación Arduino – Processing [89], [90], [91], [92]

La comunicación serie es una forma común de comunicación entre dispositivos electrónicos, y también en Arduino. A través de este tipo de comunicación podemos enviar y recibir datos desde nuestro Arduino a otros microcontroladores o a un ordenador usando algún programa o medio que lo permita (Processing, PD, Flash, Director, etc.).

El entorno de desarrollo de Processing es muy similar al de Arduino, en este caso con un botón Play que sirve para arrancar el entorno creado en el programa y un botón Stop que sirve para pararlo.

Normalmente se usa Processing con Arduino para crear un entorno de visualización de datos mucho más atractivo visualmente y con más posibilidades que si usamos el Monitor Serie del IDE de Arduino. Nos permite interactuar con Arduino, además de poder transmitir los valores de

sensores conectados a Arduino a través del puerto serie que en Processing podremos tratarlos de forma independiente a Arduino y guardarlos en un archivo de texto.

Como ya ha dicho Arduino y Processing se comunican a través del puerto serie, esta comunicación se hace a través de bytes. Un byte son 8 bits (es decir un tren de pulsos compuesto de '1s' o '0s' que sea legible para el ordenador), y representan un número entero entre 0 y 255.

Esto supone un problema si queremos enviar, por ejemplo, la lectura de un potenciómetro o la lectura de los sensores del presente proyecto, debido a que se enviará un valor comprendido entre 0 y 1023 (Convertor analógico – digital de Arduino de 10 bits).

Hay varias opciones para enviar datos en el caso de Arduino:

- Enviar una serie de caracteres ASCII (DEC). No es un método muy eficiente pero sí el más fácil de leer en el mismo IDE de Arduino porque activando el "Serial monitor" aparecerá el dato leído por el potenciómetro o por el sensor.
- Enviar un número de 1 byte en Binario (Byte). Permite el envío de información más económica (menos pulsos para la misma cantidad de información) lo que supone mayor velocidad en la comunicación. Esto es importante cuando se piensa en interacción en tiempo real. La solución en este caso está en dividir por 4 los valores leídos antes de enviarlos, de forma que pueden ser encapsulados en 1 byte (0-255).
- Antes de enviar los datos leídos por la salida analógica de nuestro Arduino lo mapeamos (cambiamos su rango original de 0-1023 a 0-255), enviamos este valor a través del puerto serie, y una vez leído por Processing lo desmapeamos (cambiamos el rango de 0-255 a 0-1023). Ésta es la solución adoptada en el presente proyecto. Se eligió esta opción porque es sencilla y útil y permite convertir un rango de variación en otro con toda sencillez, en el caso de este proyecto para transmitir la información proporcionada con una resolución 10 bits desde Arduino a otro software que trabaja con una resolución de 8 bits.

En este proyecto se utiliza este tipo de comunicación para poder transmitir los resultados de la calibración de los sensores desde Arduino a un documento de texto a través del uso del programa Processing, (Ver programas en anexo nº 5)

4.2 Netbeans

4.2.1 Comunicación Arduino – Excel [93], [94], [95]

En algunos proyectos es necesario enviar la información obtenida por sensores a otro software para su análisis y utilización. Usaremos el programa NetBeans para exportar datos de sensores desde Arduino a Excel, por medio de una interfaz en Java y la librería POI para generar archivos en Excel.

Para exportar datos de sensores desde Arduino a Excel se recomienda usar java, pues ya existe una librería Arduino para Java que permite la comunicación entre ambos a través del puerto serie.

La versión de la librería “PanamaHitek_Arduino.jar” en marzo de 2016 era la 2.8.1 (aunque en este proyecto se utiliza la versión 2.7.3, disponible en [95]). Para usarla sólo es necesario importarla al proyecto correspondiente en NetBeans.

Además debemos tener en cuenta varias cosas más para utilizar Arduino desde Java:

- **No se puede programar Arduino utilizando el lenguaje Java:** Son programas diferentes, Arduino es una plataforma de hardware y software libre con su propio lenguaje basado en C/C++ y Java es un lenguaje de programación de alto nivel. Java necesita para su ejecución la Máquina virtual de Java, la cual hasta ahora no se puede ejecutar desde Arduino.

Sin embargo esto no significa que no se puedan crear programas en Java que le envíen instrucciones a Arduino, permitiendo el control de circuitos electrónicos desde una interfaz en el ordenador.

- **Arduino se comunica con el ordenador por medio de una Comunicación Serie:**

Arduino tiene como principal característica la habilidad de comunicarse por el ordenador a través del puerto serie o “Comunicación serie”. El uso de este puerto ha quedado un poco en desuso a favor de la tecnología USB aunque Arduino cuenta con un convertidor de serie a USB que permite a la placa Arduino ser reconocida por el ordenador como un dispositivo conectado a un puerto COM aunque la conexión física sea mediante USB.

El entorno de desarrollo de Arduino proporciona una herramienta que nos permite enviar y visualizar datos que se manejan a través del puerto serie. Ésta es la forma más simple que existe para establecer la comunicación serie con Arduino.

Para comunicar las aplicaciones en Java con Arduino se debe aprovechar la comunicación serie, lo cual es perfectamente posible usando las librerías adecuadas.

- **Al crear el programa en Java y establecer la comunicación con Arduino, se reemplaza el Monitor Serie por una interfaz gráfica.** Cuando creamos un programa en Arduino que requiera la intervención del usuario por medio del Monitor Serie lo que se hace es enviar caracteres (letras o números). Estos caracteres se leen en Arduino, se interpretan y devuelven un resultado, si es necesario.

Por ejemplo para enviar los datos de los sensores conectados a la placa Arduino a Excel, en este código se lee un carácter. Si el carácter recibido es “1” se empiezan a enviar los datos de los sensores a la interfaz de Netbeans, en caso de ser “0” deja de enviar datos la Arduino.

Para lograr esto con un programa en Java, se crea una interfaz con botones (por ejemplo cuando se le dé al botón “Iniciar toma de Datos”, se le indica a Java que envíe un “1” a Arduino (la librería Arduino cuenta con un método, “SendData()”, con el que es posible hacer esto).

Cuando se vuelve a presionar este botón se le envía un “0” a Arduino y hace que se



detenga la obtención de lecturas desde la Arduino. Al presionar el botón se está emulando lo que haríamos con el Monitor Serie, enviando un “1” o un “0”. Las interfaces gráficas hacen que los proyectos sean más interactivos, interesantes y profesionales.

➤ **Para cada tipo de comunicación existen métodos especiales.** Puede haber tres situaciones:

1. Se necesita transmitir datos de Java a Arduino;
2. Se necesita transmitir datos de Arduino a Java;
3. Se necesita enviar y recibir datos entre Arduino y Java;

Para hacer esto, la librería Arduino para Java posee tres tipos de conexiones:

1. ArduinoRX(...), solamente para recibir datos en Java;
2. ArduinoTX(...), solamente para transmitir datos en Java;
3. ArduinoRXTX(...), para transmitir y recibir datos en Java.

Los tres métodos tienen unos parámetros que se deben establecer para usarlos. En todos debe establecerse el puerto COM al que está conectado la Arduino (en el presente proyecto “COM3”), el baudRate (debe ser igual al que se establezca en el Serial.begin() de Arduino), un timeOut (tiempo de espera entre el inicio de la conexión y el envío/recepción de datos) y en algunos casos un SerialPortEventListener para detectar cuándo se han enviado datos desde Arduino a Java.

➤ **Java se da cuenta cada vez que Arduino le envía datos.** Cuando es necesario enviar datos desde Arduino a Java, se utiliza un SerialPortEventListener(), el cual requiere la implementación de un método abstracto, SerialEvent(...).

El SerialEvent(...) se ejecuta cada vez que se recibe un dato en el Puerto Serie. Los datos en el Puerto Serie se reciben carácter a carácter, lo que puede suponer un problema ya que si se envía un mensaje de texto, se recibirá el mensaje letra a letra. Usando el método ReceiveData() obtendremos estos caracteres. Sin embargo, también existe el método MessageAvailable() que devuelve un valor “true” cuando ha finalizado la recepción de cualquier mensaje enviado desde la Arduino con el comando Serial.println(...).

Cuando el método MessageAvailable() devuelve un valor “true”, entonces se recibe el mensaje con PrintMessage(). El mensaje será

recibido como un String y podrá ser usado como quiera el usuario dentro de Java.

En este proyecto se utiliza este tipo de comunicación para poder transmitir y procesar en una hoja de cálculo tipo Excel los resultados de los distintos sensores conectados a Arduino, usando para ello el programa NetBeans IDE 7.4. (Ver anexo nº 6)

5. Coste de la monitorización

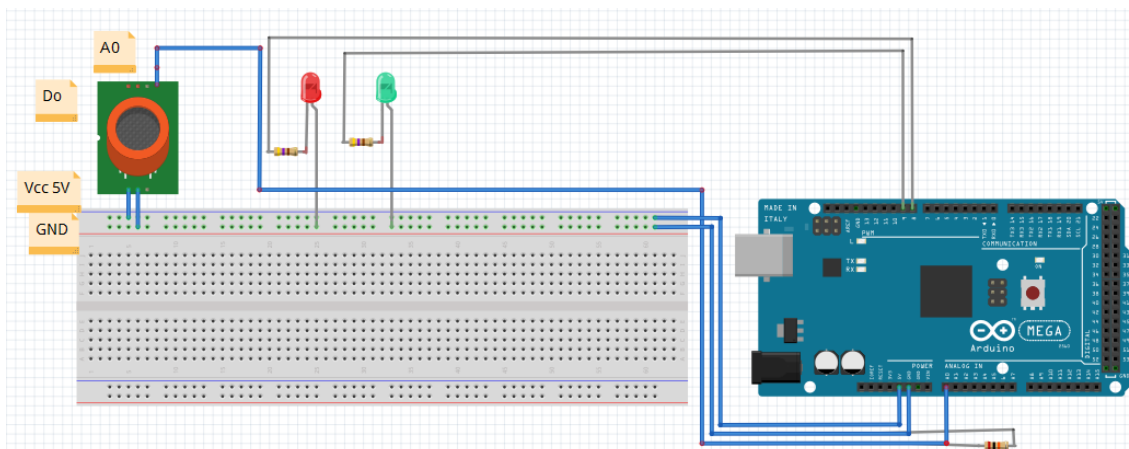
COSTE DE LA MONITORIZACIÓN DE GASES CONTAMINANTES

Descripción	Precio Unitario (€)	Unidades	Precio Parcial
Arduino MEGA con Atmega2560	34.50	1	34.50
ProtoBoard 720P BreadBoard Proto Board Placa Prototipos 720 Agujeros	4.75	2	9.50
65 X CABLES JUMPER-ARDUINO-BREAD BOARD	2.90	1	2.90
KIT 25 diodos Leds 5 mm verde, blanco, rojo, azul, amarillo	1.6200	1	1.62
10x Resistencia 10 K - 10K Ohmios - CARBON FILM RESISTOR	1.59	1	1.59
10 x Resistencia 20 K. 1% 1/4w metal film	1.69	1	1.69
50x Resistencia 470 Ohmios Ohm	1.00	1	1.00
Módulo sensor de gas MQ-4 para Arduino, Gases Metano y NatGas. Salida DO/AO	5.50	1	5.50
Sensor de gases MQ-7	5.00	1	5.00
Sensor de gases MQ-135	6.10	1	6.10
Termopar Tipo k	5.00	1	5.00
Chip MAX 31855 (Cold-Junction Compensated Thermocouple-to-Digital Converter)	6.24	1	6.24
Circuito Integrado L293D (Quadruple Half-H Drivers)	2.20	1	2.20
50 x 1N4148 - Diodo rectificador 100v 200mA	1.00	1	1.00
20x bzx55c 0,5 W Zener Diodo 2.7 v	1.25	1	1.25
1x porta pilas 2 x AA con cable	1.10	1	1.10
4 PILAS PANASONIC (1,5V) AA ALCALINAS LR6 1,5V	1.99	1	1.99
Relé AXICOM IM43N 5V	2.99	1	2.99
		SUBTOTAL	91.17 €
	IVA	21%	19.15 €
		TOTAL	110.32 €

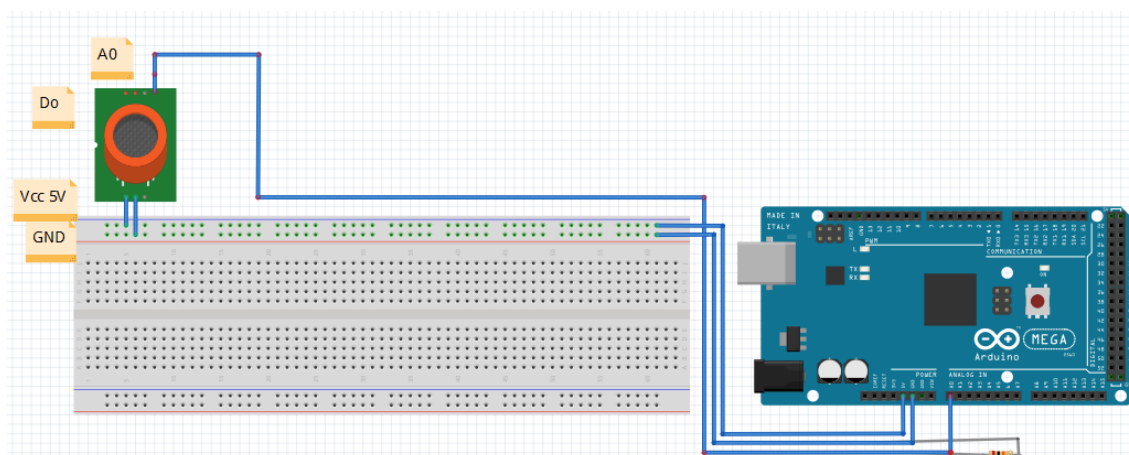
6. Planos

6.1 Conexiones del sensor MQ-4

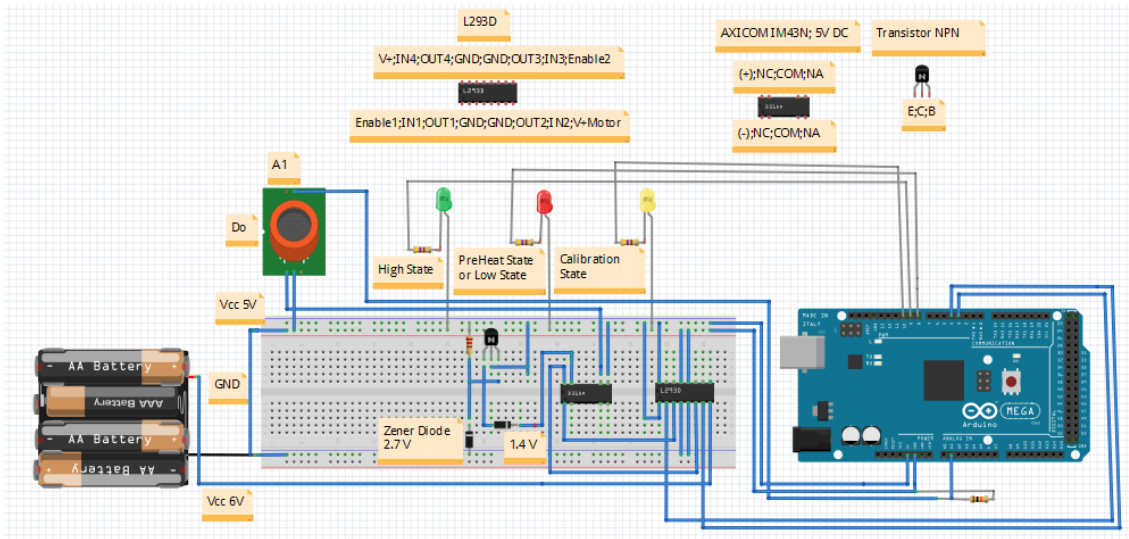
Calibración



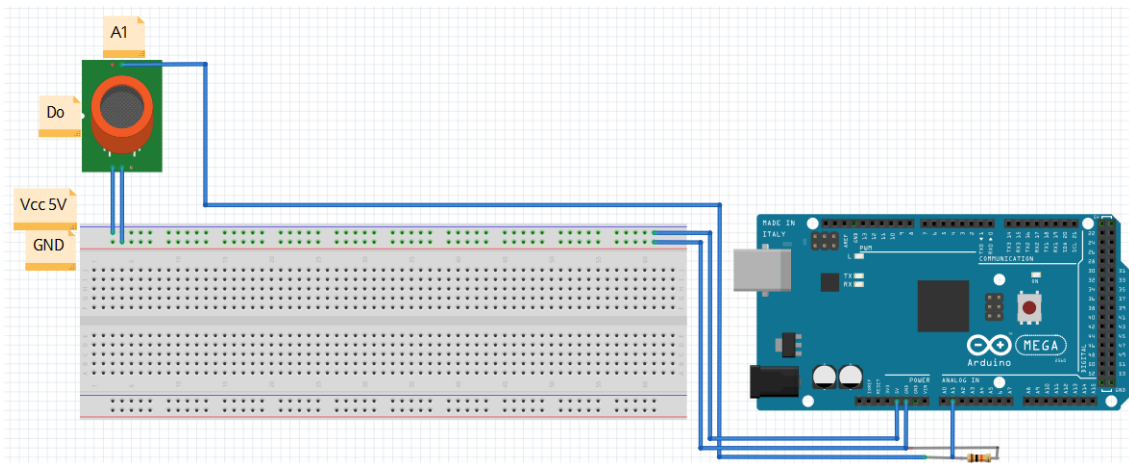
Medición



6.2 Conexiones del sensor MQ-7 Calibración

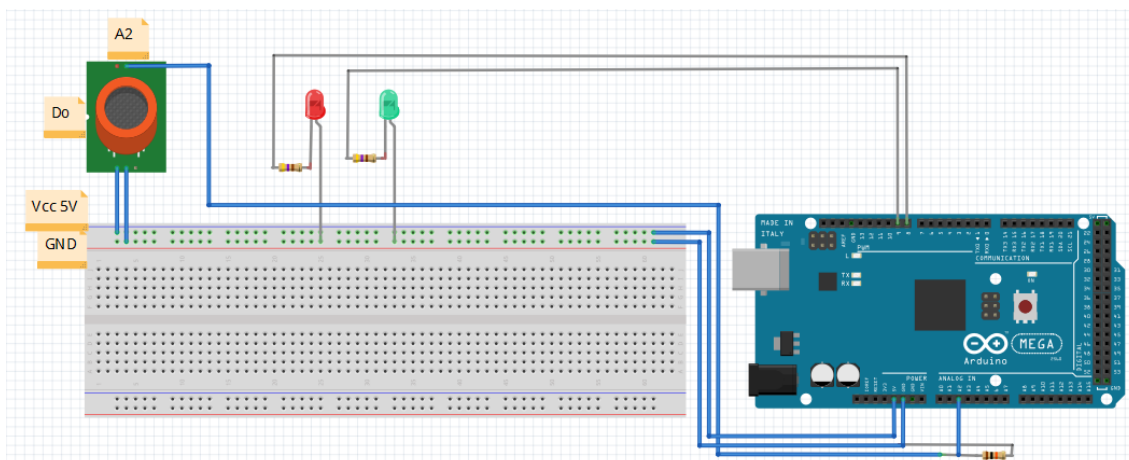


Medición

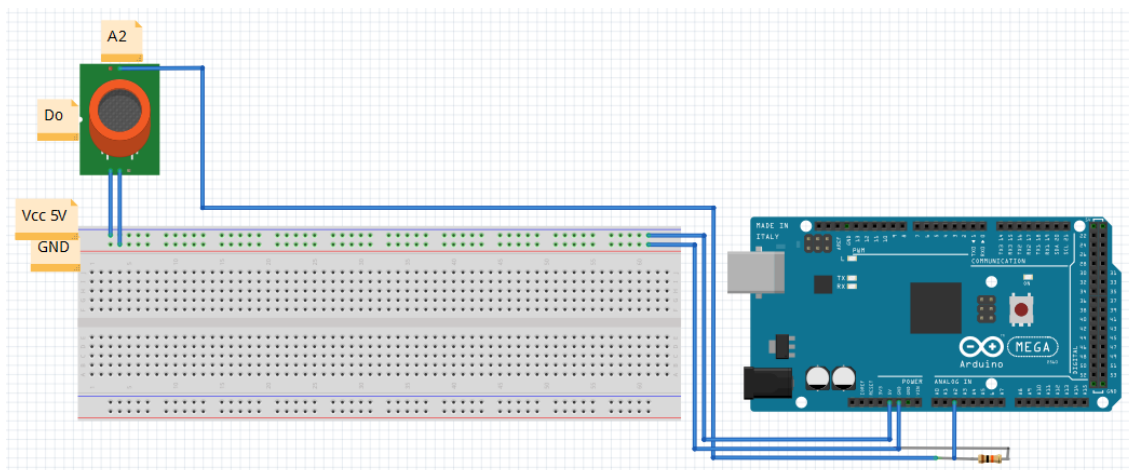


6.3 Conexiones del sensor MQ-135

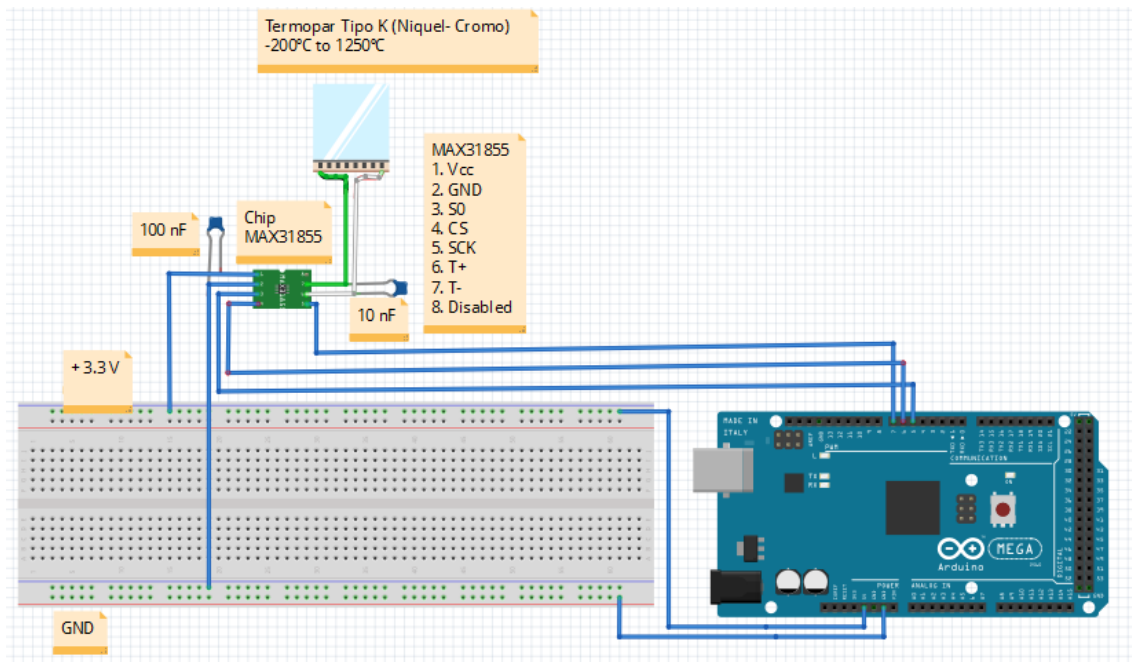
Calibración



Medición



6.4 Conexiones del Termopar y del Chip MAX31855



7. Bibliografía

- [1] Fuentes de contaminación del aire, INECC (Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático). <http://www.inecc.gob.mx/calair-informacion-basica/537-calair-fuentes#2>. Último acceso: enero 2016.
- [2] Biomasa: estado actual y perspectiva inmediata, Edita: Asociación Nacional de Ingenieros del ICAI, Universidad Pontificia Comillas, ISBN: 978-84-935950-9-8
- [3] Ecodesarrollo - Energías renovables no convencionales. Biomasa: Origen y clasificación. http://ecodesarrollo.cl/portal1/index2.php?option=com_content&do_pdf=1&id=54. Último acceso: enero 2016.
- [4] El portal profesional del Medio Ambiente, ¿de dónde viene la biomasa? <http://www.ambientum.com/revistanueva/2006-07/Biomasa.htm>. Último acceso: enero 2016.
- [5] RENOVETEC, empresa de ingeniería y de formación técnica. Libro "Centrales termoeléctricas de biomasa, Santiago García Garrido. <http://www.plantasdebiomasa.net/index.php/tipos-de-biomasa>. Último acceso: enero 2016.
- [6] Iber-Foresta, "Feria forestal ibérica 2016". <http://www.iber-foresta.com/biomasa-la-energia-del-futuro/>. Último acceso: enero 2016.
- [7] El portal profesional del medio ambiente. http://www.ambientum.com/enciclopedia_medioambiental/energia/Cultivos_energeticos.asp. Último acceso: enero 2016.
- [8] Agenbur (Agencia provincial de la energía de Burgos. Usos de la biomasa. <http://www.agenbur.com/es/contenido/index.asp?iddoc=410>. Último acceso: enero 2016.
- [9] Emesico Energías renovables. Servicios de consultoría, ingeniería y desarrollo de proyectos. <http://www.emesico.com/es/tecnologias/biomasa/calderas-biomasa/>. Último acceso: enero 2016.
- [10] Calor y frío: Las instalaciones y sus profesionales. <http://www.caloryfrio.com/calefaccion/calderas/calderas-de-biomasa-ventajas-y-funcionamiento.html>. Último acceso: enero 2016
- [11] Clic Renovables, SL. Energía renovable y medio ambiente. Web de referencia dirigida a un público amplio y que facilita el contacto entre usuarios y profesionales del sector. <http://www.clickrenovables.com/energias-renovables/biomasa/informacion-general/1>. Último acceso: enero 2016.
- [12] Escuela de Organización Industrial. Blog de Marta Luque Mérida. <https://www.eoi.es/blogs/martaluque/2014/03/17/%C2%BF1a-biomasa-vende-humo-o-su-humo-contamina/>. Último acceso: enero 2016
- [13] Ingeniería Control y Quemadores. <http://incoqu.com/analisisdegases.html>. Último acceso: enero 2016
- [14] Wikipedia, La enciclopedia libre. Carbón. <https://es.wikipedia.org/wiki/Carb%C3%B3n>. Último acceso: enero 2016
- [15] Medición de gases de combustión. Testo (Medidor de última generación). <http://analizadores-gases.es/test-3-2/>. Último acceso: enero 2016
- [16] Recursos y Conocimientos Sobre Tecnología, Tecnología Industrial y Electrotecnia. <http://www.areatecnologia.com/tecnologia/calderas-de-gas.html>. Último acceso: enero 2016
- [17] Recursos Para el Estudio de las Ciencias y las Ciencias Naturales. <http://www.areaciencias.com/que-es-el-gas-natural.htm>. Último acceso: enero 2016
- [18] Web de Endesa donde se pueden encontrar todo tipo de recursos y actividades virtuales relacionadas con la energía. http://www.endesaeduca.com/Endesa_educa/recursos-interactivos/produccion-de-electricidad/xiv.-las-centrales-de-biomasa. Último acceso: enero 2016
- [19] Web de Endesa donde se pueden encontrar todo tipo de recursos y actividades virtuales relacionadas con la energía. http://www.endesaeduca.com/Endesa_educa/recursos-interactivos/el-uso-de-la-electricidad/xxv.-la-energia-electrica-y-el-medio-ambiente. Último acceso: enero 2016
- [20] Universidad Nacional Abierta y a Distancia. Lección 7: fuentes de contaminantes atmosféricos. http://datateca.unad.edu.co/contenidos/358007/Contenido_en_linea_Caraterizacion/leccin_7_fuentes_de_contaminantes_atmosfricos_fuentes_mviles_fijas_puntuales_y_de_rea.html. Último acceso: enero 2016
- [21] Página web de Calidad del Aire del Ayuntamiento de Madrid. Contaminación atmosférica. <http://www.mambiente.munimadrid.es/opencms/opencms/calair/ContaAtmosferica/portadilla.html>. Último acceso: enero 2016
- [22] Cámara de Industrias del Uruguay. Propuesta estándares emisiones de fuentes móviles (Febrero 2012). http://www.ciu.com.uy/innovaportal/file/42609/1/gesta_aire_web_dinama_fuentes_moviles.pdf. Último acceso: enero 2016

- [23] Publicación científica sobre un estudio de cómo afecta la calidad del aire donde se trabaja a la inteligencia de dichos trabajadores. Colaboran: Harvard T.H. Chan School of Public Health, Syracuse University Center of Excellence -The Total Indoor Environmental Quality Laboratory (TIEQ), SUNY Upstate Medical School
<http://m.xatakaciencia.com/salud/tu-inteligencia-tambien-podria-depender-del-aire-de-la-oficina-en-la-que-trabajas>. Último acceso: enero 2016.
- [24] Web Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. Enciclopedia de salud y seguridad en el trabajo. Capítulo 44 → Calidad de aire interior.
<http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/TextosOnline/EnciclopediaOIT/tomo2/44.pdf>. Último acceso: enero 2016
- [25] Ingeniería ambiental. Contaminación y tratamientos, Editorial: S.A. MARCOMBO, 1999, Ramón Sans, Joan de Pablo, ISBN: 9788426707420
- [26] Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios, RITE. Calidad del Aire interior.
<http://www.ritecalidadaire.com/1/calidad-del-aire>. Último acceso: enero 2016
- [27] Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. Nota Técnica de Prevención 43: Ambientes cerrados: calidad del aire.
http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/NTP/Ficheros/201a300/ntp_243.pdf. Último acceso: enero 2016
- [28] Instituto Para la Diversificación y Ahorro de Energía. Ministerio de Industria, Energía y Turismo. Ahorro y Eficiencia Energética en Climatización. Valores de concentración de CO₂ en el aire interior sobre el exterior (C_{h,i} – C_{h,o}) en función de la calidad del aire interior (IDA).
http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_17_Guia_tecnica_instalaciones_de_climatizacion_con_equipos_autonomos_5bd3407b.pdf. Último acceso: junio 2016
- [29] ARDUINO A FONDO. EDICIONES ANAYA MULTIMEDIA (GRUPO ANAYA S.A.), 2014. Juan Ignacio Luca de Tena, 15. 28027 Madrid, Depósito Legal: M-28134-2014, ISBN: 978-84-415-3652-4. Printed in Spain
- [30] Web oficial de Arduino. Descarga del software. <https://www.arduino.cc/en/Main/Software>. Último acceso: febrero de 2016
- [31] Web oficial de Arduino. Leguaje de referencia. <https://www.arduino.cc/en/Reference/HomePage>. Último acceso: febrero de 2016
- [32] Blog dónde se pueden encontrar multitud de inventos y proyectos. Comparativa de placas Arduino.
<http://comohacer.eu/analisis-comparativo-placas-arduino-oficiales-compatibles/>. Último acceso: febrero de 2016.
- [33] Web oficial de Arduino. Productos de Arduino. <https://www.arduino.cc/en/Main/Products>. Último acceso: febrero de 2016.
- [34] Información de la placa Arduino UNO desde la Web oficial de Arduino.
<https://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardUno>. Último acceso: febrero de 2016.
- [35] Información de la placa Arduino Nano desde la Web oficial de Arduino.
<https://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardNano>. Último acceso: febrero de 2016.
- [36] Página web de una tienda de Carballo (Galicia), que vende productos de Arduino, acelerómetros, giroscopios, pantallas LCD, etc... y son distribuidores oficiales de Sparkfun, Arduino, adafruit, Pololu y otras empresas y/o compañías. Más información de la placa Arduino Nano.
<http://tienda.bricogeeek.com/arduino/12-arduino-nano.html>. Último acceso: febrero de 2016
- [37] Página web de una empresa internacional situada en Johannesburgo (Sur de África) y que distribuye componentes electrónicos, herramientas, equipos de prueba y productos industriales. Hoja de características de la placa Arduino Mega 2560.
<http://www.mantech.co.za/datasheets/products/A000047.pdf>. Último acceso: febrero de 2016
- [38] Información de la placa Arduino Mega 2560 desde la Web oficial de Arduino.
<https://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardMega2560>. Último acceso: febrero de 2016
- [39] Página web de una empresa del sector de internet con sede en Nueva York (EEUU) y que facilita a los compradores encontrar a los proveedores de diversos productos y componentes. Información sobre el instrumental existente hoy en día para la detección y medición de diversos gases.
<http://www.thomasnet.com/articles/instruments-controls/>. Último acceso: mayo de 2016
- [40] Página web de un proveedor de detección de gases como servicio y detectores de gas portátiles, con sucursales repartidas por todo el mundo. Información de los sensores electroquímicos.
<http://www.indsci.es/servicios/capacitacion/educacion-general-sobre-gas/sensor-electroquimico/>. Último acceso: mayo de 2016
- [41] Página web del Museo Nacional de Ciencias Naturales situado en Madrid (España). Los fundamentos de las técnicas más utilizadas en el Laboratorio de Cromatografía.
http://www.mncn.csic.es/docs/repositorio/es_ES/investigacion/cromatografia/cromatografia_de_gases.pdf. Último acceso: mayo de 2016

- [42] Página web de una plataforma para académicos para compartir trabajos de investigación. Listado de sensores tipo MQ.
http://www.academia.edu/11903973/MQ_series_Semiconductor_Gas_Sensor_Data_sheet_MQ_series_Semiconductor_Gas_Sensor. Último acceso: abril de 2016
- [43] Página web de una empresa china de la ciudad de Xili. Es una empresa de innovación tecnológica y hardware que vende multitud de productos. Hoja de características del MQ-2.
<https://www.seeedstudio.com/depot/datasheet/MQ-2.pdf>. Último acceso: febrero de 2016
- [44] Página web de una tienda al por menor en línea que vende productos y piezas que hacen posibles los proyectos de electrónica. Hoja de características del MQ-3.
<https://cdn.sparkfun.com/datasheets/Sensors/Biometric/MQ-3%20ver1.3%20-%20Manual.pdf>. Último acceso: febrero de 2016
- [45] Página web de un fabricante de productos electrónicos y minorista en línea. Hoja de características del MQ-4. <https://www.pololu.com/file/0J311/MQ4.pdf>. Último acceso: febrero de 2016
- [46] Página web de un proveedor de robótica y hardware de código abierto. Hoja de características del MQ-5. <http://www.dfrobot.com/image/data/SEN0130/MQ-5.pdf>. Último acceso: febrero de 2016
- [47] Página web de una tienda al por menor en línea que vende productos y piezas que hacen posibles los proyectos de electrónica. Hoja de características del MQ-6.
<https://www.sparkfun.com/datasheets/Sensors/Biometric/MQ-6.pdf>. Último acceso: febrero de 2016
- [48] Página web de una tienda al por menor en línea que vende productos y piezas que hacen posibles los proyectos de electrónica. Hoja de características del MQ-7.
<https://www.sparkfun.com/datasheets/Sensors/Biometric/MQ-7.pdf>. Último acceso: febrero de 2016
- [49] Página web de una empresa situada en Norte América y Reino Unido y que es una gran distribuidora y proveedora de componentes electrónicos en todo el mundo. Hoja de características del MQ-8.
http://www.futurlec.com/MQ-8_Gas_Sensor.shtml. Último acceso: febrero de 2016
- [50] Página web de una empresa canadiense de venta de productos de robótica y electrónica. Hoja de características del MQ-9. <https://solarbotics.com/download.php?file=2274>. Último acceso: enero de 2016
- [51] Página web de una empresa situada en Norte América y Reino Unido y que es una gran distribuidora y proveedora de componentes electrónicos en todo el mundo. Hoja de características del MQ-131.
http://www.futurlec.com/Ozone_Gas_Sensor.shtml. Último acceso: febrero de 2016
- [52] Página web de una empresa colombiana que vende multitud de componentes eléctricos y electrónicos. Hoja de características MQ-135. <http://www.sigmaelectronica.net/manuals/MQ-135.pdf>. Último acceso: febrero de 2016
- [53] Página web de una empresa situada en Moscú y se dedica al abastecimiento de sensores y convertidores primarios para medir y detectar diversas cantidades físicas. Hoja de características del MQ-136. <http://www.sensorica.ru/pdf/MQ-136.pdf>. Último acceso: febrero de 2016
- [54] Página web de una universidad de Miami. Hoja de características del MQ-137.
<http://eph.ccs.miami.edu/precise/GasSensorSpecs/NH3.pdf>. Último acceso: febrero de 2016.
- [55] Página web de una empresa italiana especializada en sistemas de recogida y procesamiento de información. Ofrece un servicio de venta al por mayor de los sistemas de vigilancia del medio ambiente y la recogida de datos. Hoja de características del MQ-138. <http://www.particle-sensor.com/immagini/MQ-138.pdf>. Último acceso: abril de 2016
- [56] Página web de una plataforma para académicos para compartir trabajos de investigación. Listado de sensores tipo MQ.
http://www.academia.edu/11903973/MQ_series_Semiconductor_Gas_Sensor_Data_sheet_MQ_series_Semiconductor_Gas_Sensor. Último acceso: abril de 2016
- [57] Página web dedicada a compartir conocimientos sobre programación de microcontroladores y uso de los sensores electrónicos y componentes relacionados.
<http://www.savvymicrocontrollersolutions.com/index.php?sensor=mq-gas-sensors>. Último acceso: abril de 2016
- [58] Página web de un blog que contiene tutoriales, circuitos, proyectos de hardware libre, cursos, foro de dudas y tienda on-line de electrónica. <http://www.trastejant.es/tutoriales/electronica/sensoresGas.html>. Último acceso: abril de 2016
- [59] Página web oficial de Arduino. Información genérica de los sensores MQ.
<http://playground.arduino.cc/Main/MQGasSensors>. Último acceso: mayo de 2016
- [60] Página web de una empresa de Bogotá (Colombia) y que vende multitud de productos electrónicos. Información del sensor MQ-4. <http://electronilab.co/tienda/mq-4-sensor-de-gas-metano-gas-natural/>. Último acceso: abril de 2016
- [61] Página web de una empresa estadounidense que fabrica y distribuye productos de detección de gases en todo el mundo. Hoja de características del detector de Metano TGS2611.
<http://www.figarosensor.com/products/2611pdf.pdf>. Último acceso: abril de 2016

- [62] Página web de una tienda de Carballo (Galicia), que vende productos de Arduino, acelerómetros, giroscopios, pantallas LCD, etc... y son distribuidores oficiales de Sparkfun, Arduino, adafruit, Pololu y otras empresas y/o compañías. Información del sensor MQ-7. <http://tienda.bricogeek.com/sensores/471-sensor-de-monoxido-de-carbono-mq-7.html>. Último acceso: abril de 2016
- [63] Página web sobre programación de los microcontroladores, uso de sensores electrónicos y otros componentes relacionados. Información general y específica del MQ-7. <http://savvymicrocontrollersolutions.com/index.php?sensor=mq-7-gas-sensors>. Último acceso: abril de 2016
- [64] Página web relacionada con el mundo de la electrónica, informática y tecnología. Control PWM con PLD. <http://indaltronia.com/2010/10/control-pwm-con-pld/>. Último acceso: abril de 2016.
- [65] Página web oficial de Arduino. Información sobre el PWM. <https://www.arduino.cc/en/Tutorial/PWM>. Último acceso: abril de 2016
- [66] Página web oficial de Arduino. Fundamentos sobre generación de salidas analógicas en Arduino. <http://playground.arduino.cc/ArduinoNotebookTraduccion/Appendix3>. Último acceso: abril de 2016.
- [67] Página web de una compañía global de diseño y fabricación de semiconductores. Hoja de características del Circuito Integrado L293D (Quadruple Half-H Drivers). <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/l293.pdf>. Último acceso: mayo de 2016.
- [68] Página web de libre acceso que permite la descarga de hoja de datos en línea para componentes electrónicos y semiconductores de diversas compañías (Texas Instruments, Panasonic, Philips, Motorola, Maxim Dallas Semiconductor, Vishay, etc...). Hoja de características del Diodo Zener. http://www.datasheetcatalog.com/datasheets_pdf/B/Z/X/5/BZX55C.shtml. Último acceso: mayo de 2016.
- [69] Página web de una compañía norteamericana que ofrece multitud de productos, herramientas de diseño, aplicaciones, etc. Hoja de características del Transistor NPN BC547. <https://www.fairchildsemi.com/datasheets/BC/BC547.pdf>. Último acceso: mayo de 2016.
- [70] Acceso directo a la descarga de la hoja de características del Relé AXICOM IM43N 5V desde la página web TE Connectivity, Ltd., anteriormente conocida como Tyco Electronics, Ltd., y anteriormente perteneciente a Tyco International Ltd., líder global de componentes electrónicos de ingeniería, soluciones de redes, sistemas de telecomunicación marinos y bienes de consumo en más de 150 países. https://www.google.es/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0ahUKEwiLtu_Z_8TMAhWG7RQKHcDECrcQFggcMAA&url=http%3A%2F%2Fwww.te.com%2Fcommerce%2FDocumentDelivery%2FDEController%3Faction%3Dshowdoc%26DocId%3DSpecification%2BOR%2BStandard%257F108-98001%257FV%257Fpdf%257FEnglish%257FENG_SS_108-98001_V_IM_0614_v1.pdf%257F4-1462039-1&usq=AFQjCnF5hKJ80wk_jqycG-NFW0Sfj-obwg&cad=rja. Último acceso: mayo de 2016.
- [71] Página web de un distribuidor global de productos de tecnología, servicios, y soluciones de sistemas electrónicos de diseño, mantenimiento y reparación. Características de los relés de la familia AXICOM. <http://www.farnell.com/datasheets/477186.pdf>. Último acceso: mayo de 2016.
- [72] Página web de un licenciado en ciencias de la computación. Universidad de Milán. Implementación de un medidor de CO₂ barato usando el sensor MQ-135. <http://davegironi.blogspot.com.es/2014/01/cheap-co2-meter-using-mq135-sensor-with.html#.VdtYBfnNL00>. Último acceso: abril de 2016.
- [73] Foro de la Web oficial de Arduino. Obtención del valor de Rs del sensor MQ-135 a partir de la lectura de tensión digital del sensor. <http://forum.arduino.cc/index.php?topic=139379.0>. Último acceso: abril de 2016.
- [74] Página web cuyo dueño es de la isla de Vancouver (Canadá) en la que se va actualizando mes a mes el valor medio de ppm de CO₂. La medición se realiza en el observatorio de Mauna Loa de la NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration, U.S.) en Hawai. <http://co2now.org/>. Último acceso: abril de 2016.
- [75] Página web que ofrece multitud de productos para medición y control de temperatura, humedad, presión, etc., manuales, software, etc... Información de sensores termopar. <http://es.omega.com/prodinfo/termopares.html>. Último acceso: febrero de 2016
- [76] Página web que ofrece multitud de productos para medición y control de temperatura, humedad, presión, etc., manuales, software, etc...Tabla característica de los termopares tipo K. http://es.omega.com/temperature/pdf/Type_K_Thermocouple_Reference_Table.pdf. Último acceso: febrero de 2016
- [77] Página web de National Instruments. Líder mundial en Soluciones de Pruebas, Medidas y Control. Tablas de voltajes termoeléctricos para todos los tipos de termopar. <http://www.ni.com/white-paper/4231/en>. Último acceso: abril de 2016.
- [78] Foro de la Web oficial de Arduino. Información sobre cómo leer el valor de temperatura con un termopar J/K. <https://forum.arduino.cc/index.php?topic=204291.0>. Último acceso: febrero de 2016
- [79] Página web de una enciclopedia libre, políglota (varios idiomas), y editada colaborativamente. Información sobre termopares. <https://es.wikipedia.org/wiki/Termopar#Tipos>. Último acceso: febrero de 2016

- [80] Página web que ofrece manuales en línea, proyectos y otros contenidos web. Información sobre el Chip MAX31855. <http://henrysbench.cpnfatz.com/henrys-bench/max31855-arduino-k-thermocouple-sensor-manual-and-tutorial/>. Último acceso: febrero de 2016
- [81] Página web fundada por un ingeniero estadounidense cuyo objetivo fue crear el mejor lugar en línea para el aprendizaje de la electrónica y la elaboración de productos mejor diseñados para todos niveles de aprendizaje y edad. Hoja de características del chip MAX31855. <https://www.adafruit.com/datasheets/MAX31855.pdf>. Último acceso: febrero de 2016
- [82] Página web de una tienda al por menor en línea que vende productos y piezas que hacen posibles los proyectos de electrónica. Hoja de características del chip MAX6675. <https://www.sparkfun.com/datasheets/IC/MAX6675.pdf>. Último acceso: abril de 2016
- [83] Página web de una empresa de Vigo especialista en el campo de los sensores, conectores Industriales, sistemas de seguridad y una amplia gama de productos y equipos electrónicos cuya utilización abarca la práctica totalidad de aplicaciones en el control de procesos y redes industriales. <http://descargas.cetronic.es/Adafruit-MAX31855-library-master.zip>. Último acceso: mayo de 2016
- [84] Página web de una plataforma de desarrollo colaborativo de software para alojar proyectos. El código se almacena de forma pública, aunque también se puede hacer de forma privada, creando una cuenta de pago. Librería para usar el chip MAX31855. <https://github.com/adafruit/Adafruit-MAX31855-library>. Último acceso: abril de 2016
- [85] Página web oficial de Processing. Descarga del software. <https://processing.org/download/>. Último acceso: abril de 2016
- [86] Página web oficial de Processing. Acceso a la información y descarga de sus librerías. <https://processing.org/reference/libraries/>. Último acceso: abril de 2016
- [87] Página web oficial de Processing. Acceso a su colección de tutoriales. <https://processing.org/tutorials/>. Último acceso: abril de 2016
- [88] Página web oficial de Processing. Acceso a algunos libros que cubren temas de procesamiento y de las bases de programación a la visualización. <https://processing.org/books/>. Último acceso: abril de 2016
- [89] Página web de una enciclopedia libre, políglota (varios idiomas), y editada colaborativamente. Información del software Processing. <https://es.wikipedia.org/wiki/Processing>. Último acceso: febrero de 2016
- [90] Página web con multitud de contenidos sobre el mundo Arduino. Comunicando Arduino con otros sistemas. <http://playground.arduino.cc/ArduinoNotebookTraduccion/Appendix4>. Último acceso: febrero de 2016
- [91] Página web de un técnico electrónico y de un desarrollador web que contiene tutoriales, códigos, videos, documentación,... sobre electrónica y programación. Arduino + Processing: primeros pasos. <http://diymakers.es/arduino-processing-primeros-pasos/>. Último acceso: febrero de 2016
- [92] Página web de la comunidad Slideshare unida a LinkedIn desde 2012 y que contiene millones de archivos de contenido profesional sobre multitud de temas. Taller de electrónica creativa. Arduino-Processing. <http://es.slideshare.net/s3th/taller-arduino-processing>. Último acceso: febrero de 2016
- [93] Página web de un estudiante de Ingeniería Electromecánica de la Universidad Tecnológica de Panamá, en ella difunde conocimiento en español acerca de las nuevas tecnologías y sus aplicaciones en la ingeniería y en la investigación. Requisitos para usar Arduino con Java (Válido hasta la versión 2.2.0 de la librería Arduino para Java). <http://panamahitek.com/requisitos-para-utilizar-arduino-con-java/>. Último acceso: febrero de 2016
- [94] Página web de un estudiante de Ingeniería Electromecánica de la Universidad Tecnológica de Panamá, en ella difunde conocimiento en español acerca de las nuevas tecnologías y sus aplicaciones en la ingeniería y en la investigación. Conocimientos básicos para comunicar Arduino y Java. <http://panamahitek.com/10-cosas-que-necesitas-saber-para-utilizar-arduino-desde-java/>. Último acceso: febrero de 2016
- [95] Página web de una plataforma de desarrollo colaborativo de software para alojar proyectos. El código se almacena de forma pública, aunque también se puede hacer de forma privada, creando una cuenta de pago. Descarga de la librería que permite comunicar Arduino con Java mediante el puerto serie. https://github.com/PanamaHitek/PanamaHitek_Arduino/releases/tag/2.7.3. Último acceso: abril de 2016

ANEXOS

Anexo 1. Ajuste por mínimos cuadrados

Ajustamos la curva del gas que queremos medir a una función exponencial de tipo $a \cdot x^b$
 Debemos determinar el valor de a y de b para el gas concreto haciendo una aproximación por mínimos cuadrados

Cogeremos un número elevado de puntos x_i, y_i de la curva característica del gas

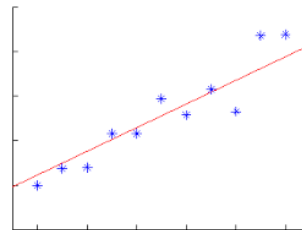
x_i (Eje de las	y_i (Eje de las
x_1	y_1
x_2	y_2
x_n	y_n

Debemos determinar a y b para que la suma $\sum [ax_i^b - y_i]^2$ sea lo menor posible

Para resolverlo tomamos logaritmos, quedando un sistema con más ecuaciones que incógnitas

Las incógnitas son a y b

$$y = a \cdot x^b \quad (x_i, y_i) \rightarrow \begin{array}{cc} x_1 & y_1 \\ x_2 & y_2 \\ | & | \\ x_n & y_n \end{array}$$



$$y_i = a \cdot x_i^b \rightarrow i = 1, 2, 3, \dots, n$$

$$y_1 = a \cdot x_1^b$$

$$y_2 = a \cdot x_2^b$$

|

$$y_n = a \cdot x_n^b$$

Debemos sacar a y b

Al tomar logaritmos en ambos lados (Nota $\rightarrow \log \equiv \ln$)

$$\log(a) + \log(x_1) \cdot b = \log(y_1)$$

$$\log(a) + \log(x_2) \cdot b = \log(y_2)$$

|

$$\log(a) + \log(x_n) \cdot b = \log(y_n)$$

$$\log y_1 = \log(a \cdot x_1^b) = \log(a) + \log(x_1^b) = \log(a) + b \cdot \log(x_1)$$

$$\text{NOTA: } \log(a) = \tilde{a}$$

$$e^{\tilde{a}} = e^{\log(a)} = a$$

$$\tilde{a} + \log(x_1) \cdot b = \log(y_1)$$

$$\tilde{a} + \log(x_2) \cdot b = \log(y_2)$$

|

$$\tilde{a} + \log(x_n) \cdot b = \log(y_n)$$

Ponemos el sistema en forma matricial:

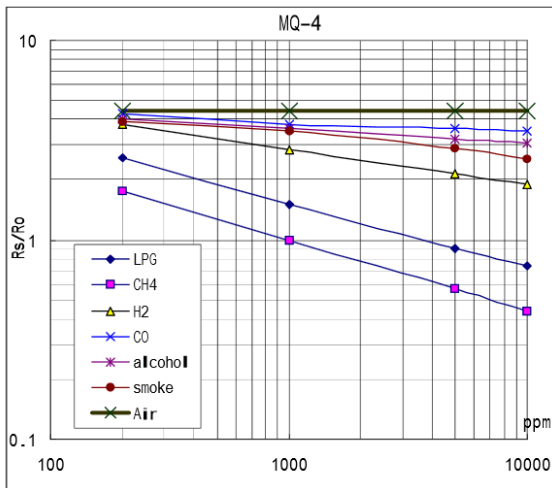
$$\begin{pmatrix} 1 & \log(x_1) \\ 1 & \log(x_2) \\ | & | \\ 1 & \log(x_n) \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} \tilde{a} \\ b \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \log(y_1) \\ \log(y_2) \\ | \\ \log(y_n) \end{pmatrix}$$

Para resolver este sistema multiplicamos cada lado de la igualdad por la transpuesta de la matriz de coeficientes, para obtener un sistema con una única solución

$$\begin{pmatrix} 1 & \dots & 1 \\ \log(x_1) & \dots & \log(x_n) \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} 1 & \log(x_1) \\ | & | \\ 1 & \log(x_n) \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} \tilde{a} \\ b \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & \dots & 1 \\ \log(x_1) & \dots & \log(x_n) \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} \log(y_1) \\ \log(y_2) \\ | \\ \log(y_n) \end{pmatrix}$$

Resolvemos el sistema, ponemos los valores x_i , y_i extraídos de la gráfica con las curvas características

A 1.1 Ajuste para el sensor MQ-4 (Metano)



x_i (Eje de las abscisas)	y_i (Eje de las ordenadas)
200	1.8
300	1.6
400	1.43
500	1.3
600	1.2
700	1.15
800	1.1
900	1.05
1000	1
2000	0.798
3000	0.685
4000	0.615
5000	0.57
6000	0.53
7000	0.5
8000	0.485
9000	0.465
10000	0.43

$$\begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ \log(200) & \log(300) & \log(400) & \log(500) & \log(600) & \log(700) & \log(800) & \log(900) & \log(1000) & \log(2000) & \log(3000) & \log(4000) & \log(5000) & \log(6000) & \log(7000) & \log(8000) & \log(9000) & \log(10000) & \log(20000) & \log(30000) \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} \tilde{a} \\ b \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \log(200) \\ \log(300) \\ \log(400) \\ \log(500) \\ \log(600) \\ \log(700) \\ \log(800) \\ \log(900) \\ \log(1000) \\ \log(2000) \\ \log(3000) \\ \log(4000) \\ \log(5000) \\ \log(6000) \\ \log(7000) \\ \log(8000) \\ \log(9000) \\ \log(10000) \\ \log(20000) \\ \log(30000) \end{pmatrix}$$

$$-\begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ \log(200) & \log(300) & \log(400) & \log(500) & \log(600) & \log(700) & \log(800) & \log(900) & \log(1000) & \log(2000) & \log(3000) & \log(4000) & \log(5000) & \log(6000) & \log(7000) & \log(8000) & \log(9000) & \log(10000) & \log(20000) & \log(30000) \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} \log(1.8) \\ \log(1.6) \\ \log(1.43) \\ \log(1.3) \\ \log(1.2) \\ \log(1.15) \\ \log(1.1) \\ \log(1.05) \\ \log(1) \\ \log(0.798) \\ \log(0.685) \\ \log(0.615) \\ \log(0.57) \\ \log(0.53) \\ \log(0.5) \\ \log(0.485) \\ \log(0.465) \\ \log(0.43) \end{pmatrix} =$$

Entonces nos quedará un sistema de 2 ecuaciones con 2 incógnitas:

$$\begin{pmatrix} 18 & 133.8 \\ 133.8 & 1023.4 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} \tilde{a} \\ b \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -3.1695 \\ -33.8528 \end{pmatrix}$$

$$18 \cdot \tilde{a} + 133.8 \cdot b = -3.1695$$

$$133.8 \cdot \tilde{a} + 1023.4 \cdot b = -33.8528$$

$$18 \cdot \tilde{a} = -3.1695 - 133.8 \cdot b \rightarrow \tilde{a} = \frac{-3.1695 - 133.8 \cdot b}{18} = -0.176083333 - 7.433333333 \cdot b$$

Sustituyendo en la otra ecuación :

$$133.8 \cdot (-0.176083333 - 7.433333333 \cdot b) + 1023.4 \cdot b = -33.8528 \rightarrow$$

$$\rightarrow -23.55994996 - 994.58 \cdot b + 1023.4 \cdot b = -33.8528 \rightarrow$$

$$\rightarrow 28.82000004 \cdot b = -10.29285004 \rightarrow b = \frac{-10.29285004}{28.82000004} = -0.35714261$$

$$\text{Entonces } \tilde{a} \text{ nos queda : } -0.176083333 - 7.433333333 \cdot (-0.35714261) = 2.478676735$$

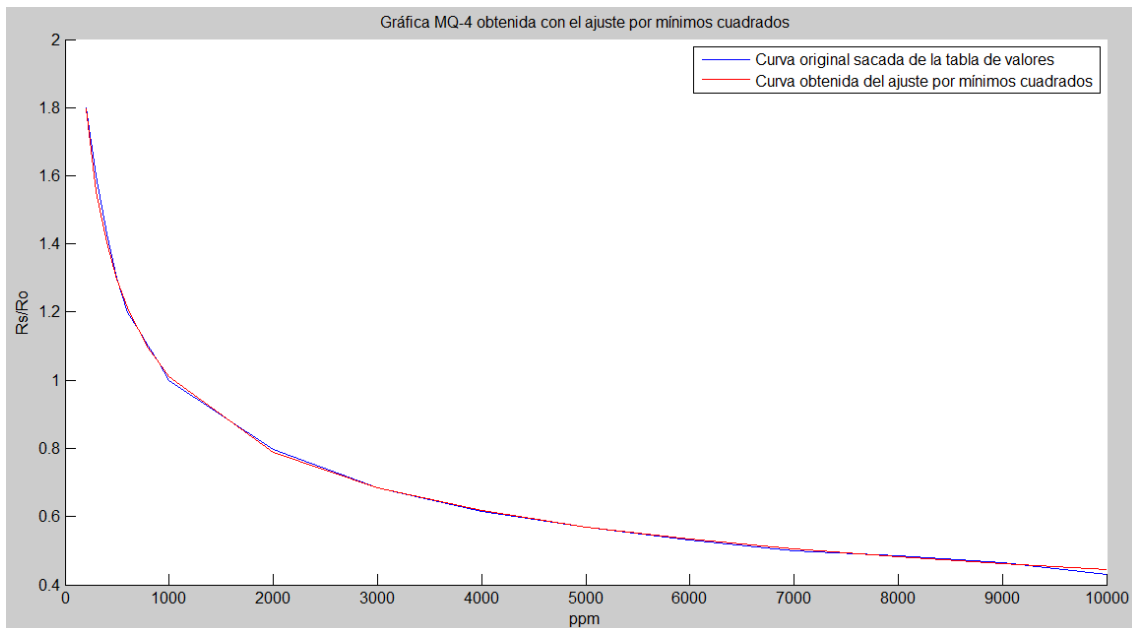
$$\text{y por lo tanto } a = e^{\log(a)} = e^{\tilde{a}} = e^{2.478676735} = 11.92547341$$

$$\text{La ecuación buscada será: } y = 11.92547341 \cdot x^{-0.35714261}$$

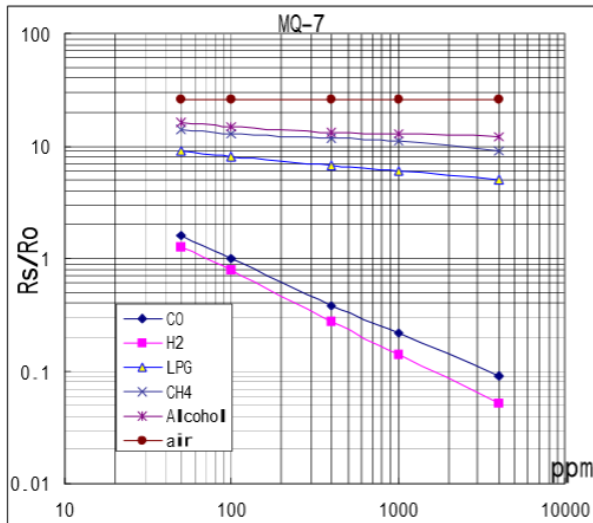
Diseño e implementación de un sistema de medida de gases con Arduino

Sacamos en Excel los resultados obtenidos a partir de la ecuación buscada y comparamos los resultados haciendo la gráfica con Matlab

		x	y
a	11,92547341	200	1,79754499
		300	1,55521372
		400	1,40336012
		500	1,29586105
b	-0,35714261	600	1,21416984
		700	1,14913192
		800	1,09561632
		900	1,05048474
		1000	1,01169079
		2000	0,78983643
		3000	0,68335672
		4000	0,61663266
		5000	0,56939785
		6000	0,53350296
		7000	0,50492547
		8000	0,48141086
		9000	0,46158016
		10000	0,44453421



A 1.2 Ajuste para el sensor MQ-7 (Monóxido de Carbono)



x_i (Eje de abscisas)	y_i (Eje de ordenadas)
50	1.75
60	1.45
70	1.3
80	1.2
90	1.05
100	1
200	0.6
300	0.48
400	0.39
500	0.32
600	0.3
700	0.28
800	0.25
900	0.235
1000	0.22
2000	0.15
3000	0.12
4000	0.09

$$\begin{pmatrix}
 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\
 \log(x_1) & \log(x_2) & \log(x_3) & \log(x_4) & \log(x_5) & \log(x_6) & \log(x_7) & \log(x_8) & \log(x_9) & \log(x_{10}) & \log(x_{11}) & \log(x_{12}) & \log(x_{13}) & \log(x_{14}) & \log(x_{15}) & \log(x_{16}) & \log(x_{17}) & \log(x_{18})
 \end{pmatrix}
 \begin{pmatrix}
 \bar{a} \\
 b
 \end{pmatrix}
 =
 \begin{pmatrix}
 \log(y_1) \\
 \log(y_2) \\
 \log(y_3) \\
 \log(y_4) \\
 \log(y_5) \\
 \log(y_6) \\
 \log(y_7) \\
 \log(y_8) \\
 \log(y_9) \\
 \log(y_{10}) \\
 \log(y_{11}) \\
 \log(y_{12}) \\
 \log(y_{13}) \\
 \log(y_{14}) \\
 \log(y_{15}) \\
 \log(y_{16}) \\
 \log(y_{17}) \\
 \log(y_{18})
 \end{pmatrix}
 \Rightarrow
 \begin{pmatrix}
 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\
 \log(50) & \log(60) & \log(70) & \log(80) & \log(90) & \log(100) & \log(200) & \log(300) & \log(400) & \log(500) & \log(600) & \log(700) & \log(800) & \log(900) & \log(1000) & \log(2000) & \log(3000) & \log(4000)
 \end{pmatrix}
 \begin{pmatrix}
 \bar{a} \\
 b
 \end{pmatrix}
 =
 \begin{pmatrix}
 \log(50) \\
 \log(60) \\
 \log(70) \\
 \log(80) \\
 \log(90) \\
 \log(100) \\
 \log(200) \\
 \log(300) \\
 \log(400) \\
 \log(500) \\
 \log(600) \\
 \log(700) \\
 \log(800) \\
 \log(900) \\
 \log(1000) \\
 \log(2000) \\
 \log(3000) \\
 \log(4000)
 \end{pmatrix}$$

$$-\begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ \log(50) & \log(60) & \log(70) & \log(80) & \log(90) & \log(100) & \log(200) & \log(300) & \log(400) & \log(500) & \log(600) & \log(700) & \log(800) & \log(900) & \log(1000) & \log(2000) & \log(3000) & \log(4000) \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} \log(1.75) \\ \log(1.45) \\ \log(1.3) \\ \log(1.2) \\ \log(1.05) \\ \log(1) \\ \log(0.6) \\ \log(0.48) \\ \log(0.39) \\ \log(0.32) \\ \log(0.3) \\ \log(0.28) \\ \log(0.25) \\ \log(0.235) \\ \log(0.22) \\ \log(0.15) \\ \log(0.12) \\ \log(0.09) \end{pmatrix} \Rightarrow$$

Entonces nos quedará un sistema de 2 ecuaciones con 2 incógnitas:

$$\begin{pmatrix} 18 & 106.1941 \\ 106.1941 & 659.0776 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} \tilde{a} \\ b \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -15.1520 \\ -110.7572 \end{pmatrix}$$

$$18 \cdot \tilde{a} + 106.1941 \cdot b = -15.1520$$

$$106.1941 \cdot \tilde{a} + 659.0776 \cdot b = -110.7572$$

$$18 \cdot \tilde{a} = -15.1520 - 106.1941 \cdot b \rightarrow \tilde{a} = \frac{-15.1520 - 106.1941 \cdot b}{18} = -0.841777777 - 5.899672222 \cdot b$$

Sustituyendo en la otra ecuación :

$$106.1941 \cdot (-0.841777777 - 5.899672222 \cdot b) + 659.0776 \cdot b = -110.7572 \rightarrow$$

$$\rightarrow -89.39183343 - 626.5103819 \cdot b + 659.0776 \cdot b = -110.7572 \rightarrow$$

$$\rightarrow 32.56721809 \cdot b = -21.36536657 \rightarrow b = \frac{-21.36536657}{32.56721809} = -0.656039042$$

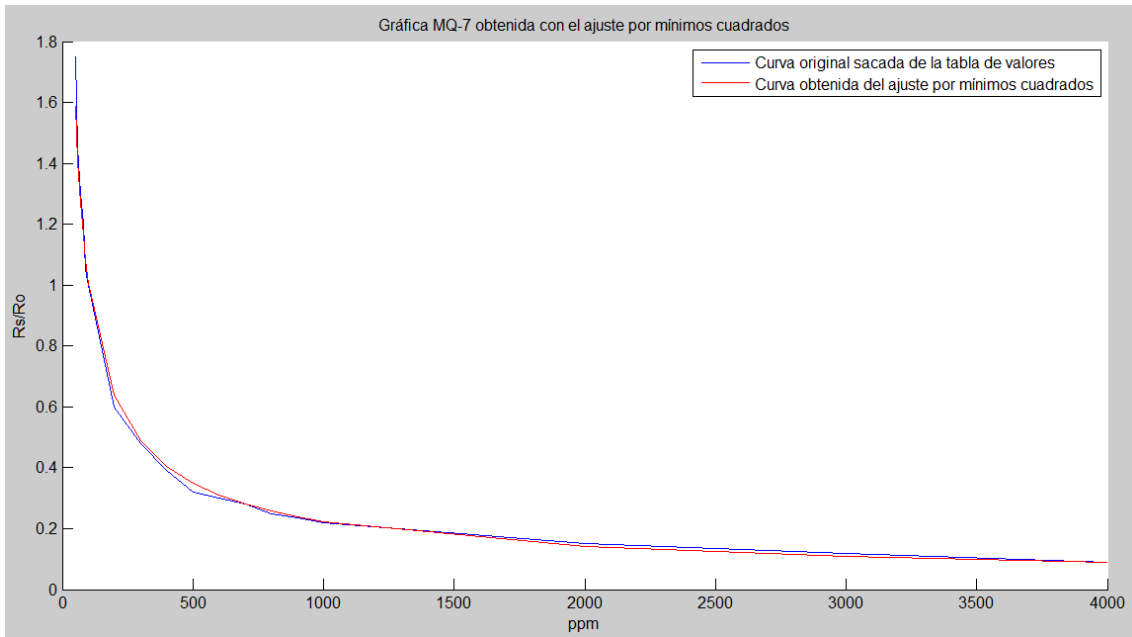
$$\text{Entonces } \tilde{a} \text{ nos queda : } -0.841777777 - 5.899672222 \cdot (-0.656039042) = 3.028637536$$

$$\text{y por lo tanto } a = e^{\log(a)} = e^{\tilde{a}} = e^{3.028637536} = 20.66905256$$

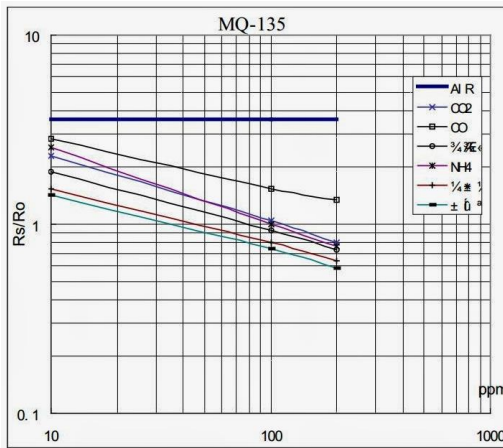
$$\text{La ecuación buscada será: } y = 20.66905256 \cdot x^{-0.656039042}$$

Sacamos en Excel los resultados obtenidos a partir de la ecuación buscada y comparamos los resultados haciendo la gráfica con Matlab

		x	y
a	20,6690525600	50	1,58755915
		60	1,40858781
		70	1,27310499
		80	1,16632407
		90	1,0795958
		100	1,00749404
		200	0,63937412
		300	0,49004088
		400	0,4057585
		500	0,3505023
b	-0,656039042	600	0,3109889
		700	0,28107691
		800	0,25750176
		900	0,23835384
		1000	0,22243516
		2000	0,14116142
		3000	0,10819153
		4000	0,08958361



A 1.3 Ajuste para el sensor MQ-135 (Dióxido de Carbono)



x_i (Eje de abscisas)	y_i (Eje de ordenadas)
10	2.3
20	1.8
30	1.6
40	1.5
50	1.4
60	1.3
70	1.2
80	1.1
90	1.08
100	1.05
200	0.8

$$\begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ \log(x_1) & \log(x_2) & \log(x_3) & \log(x_4) & \log(x_5) & \log(x_6) & \log(x_7) & \log(x_8) & \log(x_9) & \log(x_{10}) & \log(x_{11}) & \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} \tilde{a} \\ b \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \log(y_1) \\ \log(y_2) \\ \log(y_3) \\ \log(y_4) \\ \log(y_5) \\ \log(y_6) \\ \log(y_7) \\ \log(y_8) \\ \log(y_9) \\ \log(y_{10}) \\ \log(y_{11}) \end{pmatrix} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ \log(10) & \log(20) & \log(30) & \log(40) & \log(50) & \log(60) & \log(70) & \log(80) & \log(90) & \log(100) & \log(200) & \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} \tilde{a} \\ b \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \log(2.3) \\ \log(1.8) \\ \log(1.6) \\ \log(1.5) \\ \log(1.4) \\ \log(1.3) \\ \log(1.2) \\ \log(1.1) \\ \log(1.08) \\ \log(1.05) \\ \log(0.8) \end{pmatrix}$$

Entonces nos quedará un sistema de 2 ecuaciones con 2 incógnitas:

$$\begin{pmatrix} 11 & 43.4286 \\ 43.4886 & 178.2998 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} \tilde{a} \\ b \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 3.0752 \\ 9.7444 \end{pmatrix}$$

$$11 \cdot \tilde{a} + 43.4286 \cdot b = 3.0752$$

$$43.4886 \cdot \tilde{a} + 178.2998 \cdot b = 9.7444$$

$$11 \cdot \tilde{a} = 3.0752 - 43.4286 \cdot b \rightarrow \tilde{a} = \frac{3.0752 - 43.4286 \cdot b}{11} = 0.279563636 - 3.948054545 \cdot b$$

Sustituyendo en la otra ecuación:

$$43.4886 \cdot (0.279563636 - 3.948054545 \cdot b) + 178.2998 \cdot b = 9.7444 \rightarrow$$

$$\rightarrow 12.15783114 - 171.6953649 \cdot b + 178.2998 \cdot b = 9.7444 \rightarrow$$

$$\rightarrow 6.6044351 \cdot b = -2.41343114 \rightarrow b = \frac{-2.41343114}{6.6044351} = -0.365425824$$

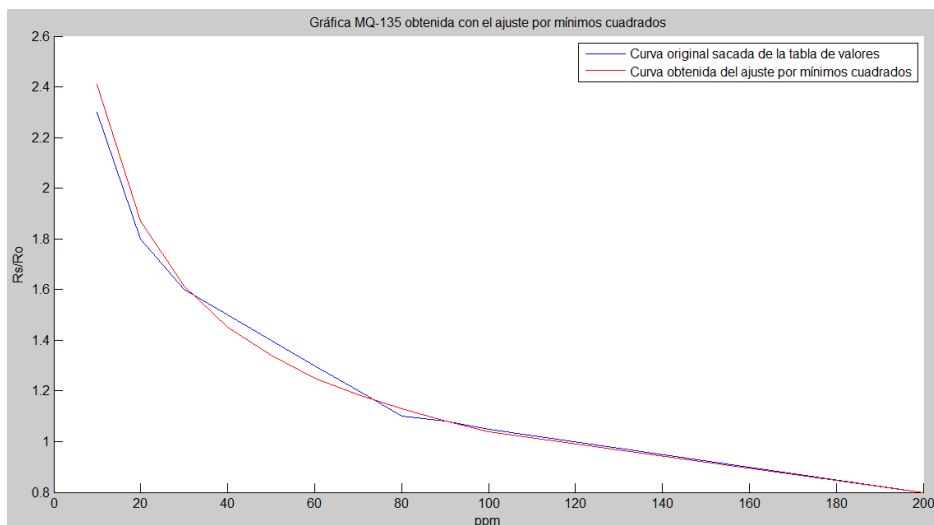
$$\text{Entonces } \tilde{a} \text{ nos queda: } 0.279563636 - 3.948054545 \cdot (-0.365425824) = 1.722284721$$

$$\text{y por lo tanto } a = e^{\log(a)} = e^{\tilde{a}} = e^{1.722284721} = 5.597302142$$

$$\text{La ecuación buscada será: } y = 5.597302142 \cdot x^{-0.365425824}$$

Sacamos en Excel los resultados obtenidos a partir de la ecuación buscada y comparamos los resultados haciendo la gráfica con Matlab

	x	y
	10	2,41297558
	20	1,87304751
a	30	1,61510402
	40	1,45393389
b	50	1,34008158
	60	1,25370791
	70	1,18503801
	80	1,12860124
	90	1,0810557
	100	1,04022456
	200	0,80746363



Anexo 2. Distinción de los tipos de termopar según el código de colores (Normas ANSI e IEC)

Código de color ANSI	Código de color ANSI/ASTM E-230		Combinación de aleación		Comentarios Entorno Cable pelado	Rango de temp. máximo grado termopar	FEM (mV) en todo el rango de temp. máximo	Codificación de color IEC 584-3		Código IEC
	Grado de termopar	Grado de extensión	Conductor +	Conductor -				Grado de termopar	Intrínsecamente seguro	
J			HIERRO Fe (magnético)	CONSTANTÁN CUPRONIQUEL Cu-Ni	Reductor, vacío, inerte. Uso limitado en entornos oxidantes a altas temperaturas. No se recomienda para temperaturas bajas.	-210 a 1200 °C -346 a 2193 °F	-8.095 a 69.553			J
K			CHROMEGLA™ NICHROMO Ni-Cr	ALOMEGA™ NIQUEL-ALUMINIO Ni-AI (magnético)	Oxidante limpio e inerte. Uso limitado en vacío o atmósfera reductora. Amplio rango de temperatura, la calibración más popular.	-270 a 1372 °C -454 a 2501 °F	-6.458 a 54.886			K
T			COBRE Cu	CONSTANTÁN CUPRONIQUEL Cu-Ni	Ligeramente oxidante, reductor, vacío o inerte. Bueno en condiciones de humedad presente. Aplicaciones a temperaturas bajas y criogénicas.	-270 a 400 °C -454 a 752 °F	-6.258 a 20.872			T
E			CHROMEGLA™ NICHROMO Ni-Cr	CONSTANTÁN CUPRONIQUEL Cu-Ni	Oxidante o inerte. Uso limitado en vacío o atmósfera reductora. El cambio más alto de FEM por grado.	-270 a 1000 °C -454 a 1832 °F	-9.835 a 76.373			E
N			OMEGA-P™ NICHROSIL Ni-Cr-Si	OMEGA-N™ NISIL Ni-Si-Mg	Alternativa a tipo K. Más estable a temperaturas altas.	-270 a 1300 °C -450 a 2372 °F	-4.345 a 47.513			N
R	NO SE HA ESTABLECIDO		PLATINO-13 % RODIO Pt-13 % Rh	PLATINO Pt	Oxidante o inerte. No insertar en tubos metálicos. Cuidado con la contaminación. Temperatura alta.	-50 a 1768 °C -58 a 3214 °F	-0.226 a 21.101			R
S	NO SE HA ESTABLECIDO		PLATINO-10 % RODIO Pt-10 % Rh	PLATINO Pt	Oxidante o inerte. No insertar en tubos metálicos. Cuidado con la contaminación. Temperatura alta.	-50 a 1768 °C -58 a 3214 °F	-0.236 a 18.693			S
R/SX	NO SE HA ESTABLECIDO		COBRE Cu	COBRE-BAJO NIQUEL Cu-Ni	Cable de conexión de grado de extensión para termopares R & S, también conocido como cable de extensión RX y SX.					R/SX
U*	NO SE HA ESTABLECIDO		COBRE Cu	COBRE Cu	No compensado para uso con RTDs y termistores.					U
B	NO SE HA ESTABLECIDO		PLATINO-30 % RODIO Pt-30 % Rh	PLATINO-6 % RODIO Pt-6 % Rh	Oxidante o inerte. No insertar en tubos metálicos. Cuidado con la contaminación. Temp. alta. Uso común en la industria del vidrio.	0 a 1820 °C 32 a 3308 °F	0 a 13.820			B
G* (W)	NO SE HA ESTABLECIDO		TUNGSTENO W	TUNGSTENO-26 % RENIO W-26 % Re	Vacío, inerte, hidrógeno. Cuidado con la fragilización. No es práctico por debajo de 399 °C (750 °F). No es apto para atmósfera oxidante.	0 a 2320 °C 32 a 4208 °F	0 a 38.564	NO ES ESTÁNDAR. USE CÓDIGO DE COLOR ANSI.		G (W)
C* (W5)	NO SE HA ESTABLECIDO		TUNGSTENO-5 % RENIO W-5 % Re	TUNGSTENO-26 % RENIO W-26 % Re	Vacío, inerte, hidrógeno. Cuidado con la fragilización. No es práctico por debajo de 399 °C (750 °F). No es para atmósfera oxidante.	0 a 2320 °C 32 a 4208 °F	0 a 37.066	NO ES ESTÁNDAR. USE CÓDIGO DE COLOR ANSI.		C (W5)
D* (W3)	NO SE HA ESTABLECIDO		TUNGSTENO-3 % RENIO W-3 % Re	TUNGSTENO-25 % RENIO W-25 % Re	Vacío, inerte, hidrógeno. Cuidado con la fragilización. No es práctico por debajo de 399 °C (750 °F). No es para atmósfera oxidante.	0 a 2320 °C 32 a 4208 °F	0 a 39.506	NO ES ESTÁNDAR. USE CÓDIGO DE COLOR ANSI.		D (W3)

* No hay símbolo oficial ni designación estándar.

† También está disponible en código de color JIS.

Anexo 3. Programas en Arduino para la calibración de los sensores tipo MQ

A 3.1 Calibración del sensor MQ-4 (Metano)

Carpeta número 1 en el CD que acompaña a la Memoria

A 3.2 Calibración del sensor MQ-7 (Monóxido de carbono)

Carpeta número 1 en el CD que acompaña a la Memoria

A 3.3 Calibración del sensor MQ-135 (Dióxido de carbono y otros gases)

Carpeta número 1 en el CD que acompaña a la Memoria

Anexo 4. Programa en Arduino para el cálculo de ppm (CH₄, CO, CO₂) y de temperatura

Carpeta número 2 en el CD que acompaña a la Memoria

Anexo 5. Programas de calibración de los sensores tipo MQ (Arduino + Processing)

A 5.1 Calibración sensor MQ-4 (Metano)

- **Programa en Arduino**
Carpeta número 3 en el CD que acompaña a la Memoria
- **Programa en Processing**
Carpeta número 3 en el CD que acompaña a la Memoria

A 5.2 Calibración del sensor MQ-7 (Monóxido de carbono)

- **Programa en Arduino**
Carpeta número 3 en el CD que acompaña a la Memoria
- **Programa en Processing**
Carpeta número 3 en el CD que acompaña a la Memoria

A 5.3 Calibración del sensor MQ-135 (Dióxido de carbono y otros gases)

- **Programa en Arduino**
Carpeta número 3 en el CD que acompaña a la Memoria
- **Programa en Processing**
Carpeta número 3 en el CD que acompaña a la Memoria

Anexo 6. Programa de cálculo de ppm (CH₄, CO, CO₂) y de temperatura (Arduino + NetBeans)

- **Programa en Arduino**
Carpeta número 4 en el CD que acompaña a la Memoria
- **Programa en NetBeans**
Carpeta número 4 en el CD que acompaña a la Memoria

Anexo 7. Hojas de características

A 7.1 Arduino Mega 2560



Product Overview

The Arduino Mega 2560 is a microcontroller board based on the ATmega2560 ([datasheet](#)). It has 54 digital input/output pins (of which 14 can be used as PWM outputs), 16 analog inputs, 4 UARTs (hardware serial ports), a 16 MHz crystal oscillator, a USB connection, a power jack, an ICSP header, and a reset button. It contains everything needed to support the microcontroller; simply connect it to a computer with a USB cable or power it with a AC-to-DC adapter or battery to get started. The Mega is compatible with most shields designed for the Arduino Duemilanove or Diecimila.

Index

Technical Specifications	Page 2
How to use Arduino Programming Enviroment, Basic Tutorials	Page 6
Terms & Conditions	Page 7
Enviromental Policies half sqm of green via Impatto Zero®	Page 7



radiospares

RADIONICS



Technical Specification

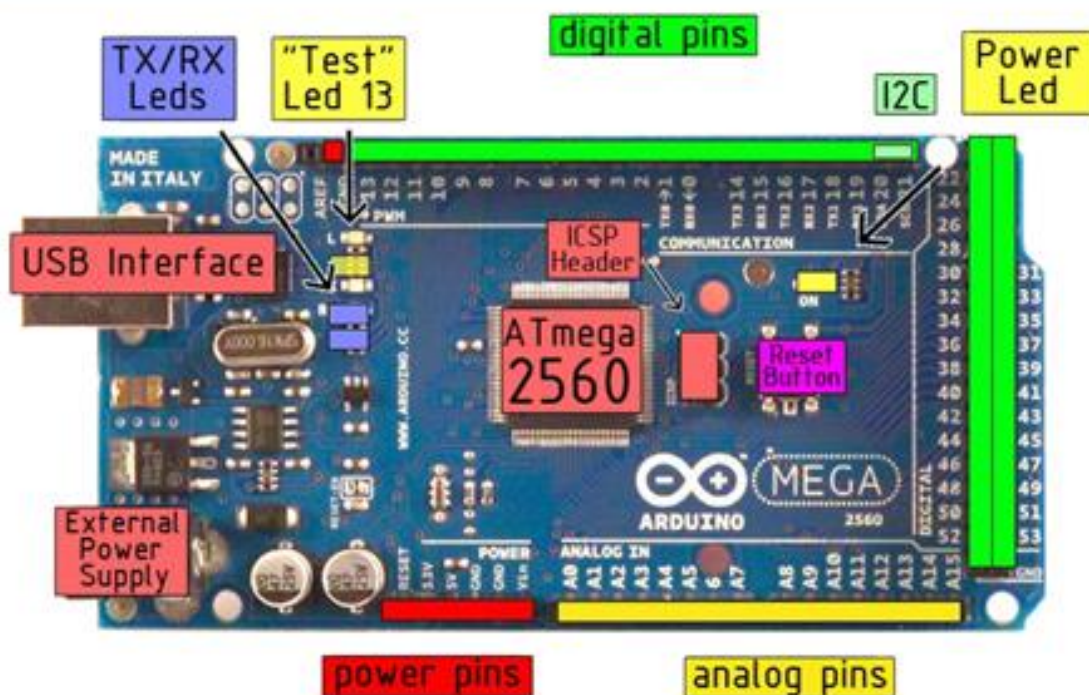


EAGLE files: [arduino-mega2560-reference-design.zip](#) Schematic: [arduino-mega2560-schematic.pdf](#)

Summary

Microcontroller	ATmega2560
Operating Voltage	5V
Input Voltage (recommended)	7-12V
Input Voltage (limits)	6-20V
Digital I/O Pins	54 (of which 14 provide PWM output)
Analog Input Pins	16
DC Current per I/O Pin	40 mA
DC Current for 3.3V Pin	50 mA
Flash Memory	256 KB of which 8 KB used by bootloader
SRAM	8 KB
EEPROM	4 KB
Clock Speed	16 MHz

the board



radiospares

RADIONICS



Power

The Arduino Mega2560 can be powered via the USB connection or with an external power supply. The power source is selected automatically. External (non-USB) power can come either from an AC-to-DC adapter (wall-wart) or battery. The adapter can be connected by plugging a 2.1mm center-positive plug into the board's power jack. Leads from a battery can be inserted in the Gnd and Vin pin headers of the POWER connector.

The board can operate on an external supply of 6 to 20 volts. If supplied with less than 7V, however, the 5V pin may supply less than five volts and the board may be unstable. If using more than 12V, the voltage regulator may overheat and damage the board. The recommended range is 7 to 12 volts.

The Mega2560 differs from all preceding boards in that it does not use the FTDI USB-to-serial driver chip. Instead, it features the Atmega8U2 programmed as a USB-to-serial converter.

The power pins are as follows:

- **VIN.** The input voltage to the Arduino board when it's using an external power source (as opposed to 5 volts from the USB connection or other regulated power source). You can supply voltage through this pin, or, if supplying voltage via the power jack, access it through this pin.
- **5V.** The regulated power supply used to power the microcontroller and other components on the board. This can come either from VIN via an on-board regulator, or be supplied by USB or another regulated 5V supply.
- **3V3.** A 3.3 volt supply generated by the on-board regulator. Maximum current draw is 50 mA.
- **GND.** Ground pins.

Memory

The ATmega2560 has 256 KB of flash memory for storing code (of which 8 KB is used for the bootloader), 8 KB of SRAM and 4 KB of EEPROM (which can be read and written with the [EEPROM library](#)).

Input and Output

Each of the 54 digital pins on the Mega can be used as an input or output, using [pinMode\(\)](#), [digitalWrite\(\)](#), and [digitalRead\(\)](#) functions. They operate at 5 volts. Each pin can provide or receive a maximum of 40 mA and has an internal pull-up resistor (disconnected by default) of 20-50 kOhms. In addition, some pins have specialized functions:

- **Serial:** 0 (RX) and 1 (TX); Serial 1: 19 (RX) and 18 (TX); Serial 2: 17 (RX) and 16 (TX); Serial 3: 15 (RX) and 14 (TX). Used to receive (RX) and transmit (TX) TTL serial data. Pins 0 and 1 are also connected to the corresponding pins of the ATmega8U2 USB-to-TTL Serial chip.
- **External Interrupts:** 2 (Interrupt 0), 3 (Interrupt 1), 18 (Interrupt 5), 19 (Interrupt 4), 20 (Interrupt 3), and 21 (Interrupt 2). These pins can be configured to trigger an interrupt on a low value, a rising or falling edge, or a change in value. See the [attachInterrupt\(\)](#) function for details.
- **PWM:** 0 to 13. Provide 8-bit PWM output with the [analogWrite\(\)](#) function.
- **SPI:** 50 (MISO), 51 (MOSI), 52 (SCK), 53 (SS). These pins support SPI communication, which, although provided by the underlying hardware, is not currently included in the Arduino language. The SPI pins are also broken out on the ICSP header, which is physically compatible with the Duemilanove and Diecimila.
- **LED:** 13. There is a built-in LED connected to digital pin 13. When the pin is HIGH value, the LED is on, when the pin is LOW, it's off.
- **I²C:** 20 (SDA) and 21 (SCL). Support I²C (TWI) communication using the [Wire library](#) (documentation on the Wiring website). Note that these pins are not in the same location as the I²C pins on the Duemilanove.

The Mega2560 has 16 analog inputs, each of which provide 10 bits of resolution (i.e. 1024 different values). By default they measure from ground to 5 volts, though it is possible to change the upper end of their range using the AREF pin and [analogReference\(\)](#) function.

There are a couple of other pins on the board:

- **AREF.** Reference voltage for the analog inputs. Used with [analogReference\(\)](#).
- **Reset.** Bring this line LOW to reset the microcontroller. Typically used to add a reset button to shields which block the one on the board.



radiospares

RADIONICS



Communication

The Arduino Mega2560 has a number of facilities for communicating with a computer, another Arduino, or other microcontrollers. The ATmega2560 provides four hardware UARTs for TTL (5V) serial communication. An ATmega8U2 on the board channels one of these over USB and provides a virtual com port to software on the computer (Windows machines will need a .inf file, but OSX and Linux machines will recognize the board as a COM port automatically). The Arduino software includes a serial monitor which allows simple textual data to be sent to and from the board. The RX and TX LEDs on the board will flash when data is being transmitted via the ATmega8U2 chip and USB connection to the computer (but not for serial communication on pins 0 and 1).

A [SoftwareSerial library](#) allows for serial communication on any of the Mega's digital pins.

The ATmega2560 also supports I2C (TWI) and SPI communication. The Arduino software includes a Wire library to simplify use of the I2C bus; see the [documentation on the Wiring website](#) for details. To use the SPI communication, please see the ATmega2560 datasheet.

Programming

The Arduino Mega2560 can be programmed with the Arduino software ([download](#)). For details, see the [reference](#) and [tutorials](#).

The ATmega2560 on the Arduino Mega comes preburned with a [bootloader](#) that allows you to upload new code to it without the use of an external hardware programmer. It communicates using the original STK500 protocol ([reference](#), [C header files](#)).

You can also bypass the bootloader and program the microcontroller through the ICSP (In-Circuit Serial Programming) header; see [these instructions](#) for details.



radiospares

RADIONICS



Automatic (Software) Reset

Rather than requiring a physical press of the reset button before an upload, the Arduino Mega2560 is designed in a way that allows it to be reset by software running on a connected computer. One of the hardware flow control lines (DTR) of the ATmega8U2 is connected to the reset line of the ATmega2560 via a 100 nanofarad capacitor. When this line is asserted (taken low), the reset line drops long enough to reset the chip. The Arduino software uses this capability to allow you to upload code by simply pressing the upload button in the Arduino environment. This means that the bootloader can have a shorter timeout, as the lowering of DTR can be well-coordinated with the start of the upload.

This setup has other implications. When the Mega2560 is connected to either a computer running Mac OS X or Linux, it resets each time a connection is made to it from software (via USB). For the following half-second or so, the bootloader is running on the Mega2560. While it is programmed to ignore malformed data (i.e. anything besides an upload of new code), it will intercept the first few bytes of data sent to the board after a connection is opened. If a sketch running on the board receives one-time configuration or other data when it first starts, make sure that the software with which it communicates waits a second after opening the connection and before sending this data.

The Mega contains a trace that can be cut to disable the auto -reset. The pads on either side of the trace can be soldered together to re-enable it. It's labeled "RESET-EN". You may also be able to disable the auto-reset by connecting a 110 ohm resistor from 5V to the reset line; see [this forum thread](#) for details.

USB Overcurrent Protection

The Arduino Mega has a resettable polyfuse that protects your computer's USB ports from shorts and overcurrent. Although most computers provide their own internal protection, the fuse provides an extra layer of protection. If more than 500 mA is applied to the USB port, the fuse will automatically break the connection until the short or overload is removed.

Physical Characteristics and Shield Compatibility

The maximum length and width of the Mega PCB are 4 and 2.1 inches respectively, with the USB connector and power jack extending beyond the former dimension. Three screw holes allow the board to be attached to a surface or case. Note that the distance between digital pins 7 and 8 is 160 mil (0.16"), not an even multiple of the 100 mil spacing of the other pins.

The Mega is designed to be compatible with most shields designed for the Diecimila or Duemilanove. Digital pins 0 to 13 (and the adjacent AREF and GND pins), analog inputs 0 to 5, the power header, and ICSP header are all in equivalent locations. Further the main UART (serial port) is located on the same pins (0 and 1), as are external interrupts 0 and 1 (pins 2 and 3 respectively). SPI is available through the ICSP header on both the Mega and Duemilanove / Diecimila. Please note that I²C is not located on the same pins on the Mega (20 and 21) as the Duemilanove / Diecimila (analog inputs 4 and 5).



radiospares

RADIONICS



How to use Arduino



Arduino can sense the environment by receiving input from a variety of sensors and can affect its surroundings by controlling lights, motors, and other actuators. The microcontroller on the board is programmed using the [Arduino programming language](#) (based on [Wiring](#)) and the Arduino development environment (based on [Processing](#)). Arduino projects can be stand-alone or they can communicate with software on running on a computer (e.g. Flash, Processing, MaxMSP).

Arduino is a cross-platform program. You'll have to follow different instructions for your personal OS. Check on the [Arduino site](#) for the latest instructions. <http://arduino.cc/en/Guide/HomePage>

Linux Install

Windows Install

Mac Install

Once you have downloaded/unzipped the arduino IDE, you can Plug the Arduino to your PC via USB cable.

Blink led

Now you're actually ready to "burn" your first program on the arduino board. To select "blink led", the physical translation of the well known programming "hello world", select

**File>Sketchbook>
Arduino-0017>Examples>
Digital>Blink**

Once you have your sketch you'll see something very close to the screenshot on the right.

In **Tools>Board** select MEGA

Now you have to go to **Tools>SerialPort** and select the right serial port, the one arduino is attached to.

```
int ledPin = 13; // LED connected to digital pin 13

// The setup() method runs once, when the sketch starts

void setup() {
  // initialize the digital pin as an output:
  pinMode(ledPin, OUTPUT);
}

// the loop() method runs over and over again,
// as long as the Arduino has power

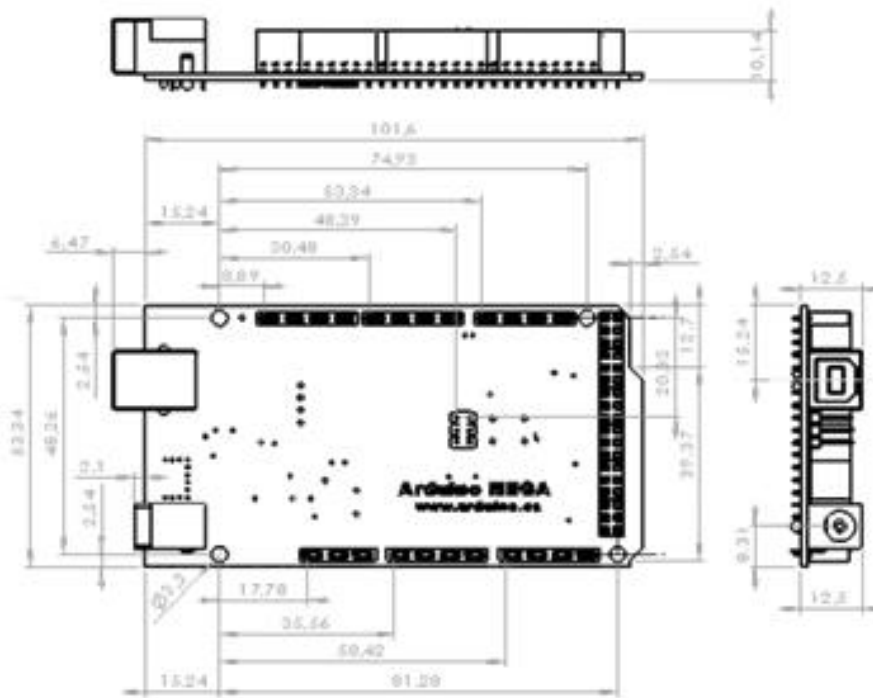
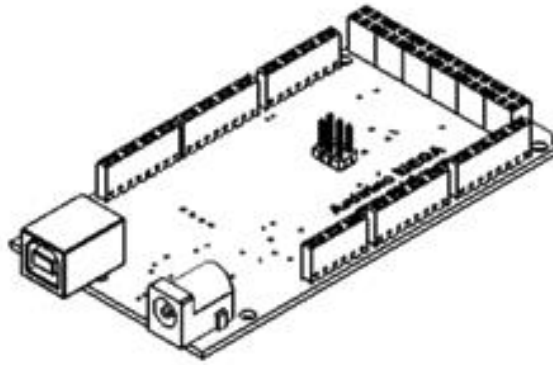
void loop()
{
  digitalWrite(ledPin, HIGH); // set the LED on
  delay(1000);                // wait for a second
  digitalWrite(ledPin, LOW);  // set the LED off
  delay(1000);                // wait for a second
}
```



radiospares

RADIONICS





radiospares RADIONICS



Terms & Conditions



1. Warranties

1.1 The producer warrants that its products will conform to the Specifications. This warranty lasts for one (1) years from the date of the sale. The producer shall not be liable for any defects that are caused by neglect, misuse or mistreatment by the Customer, including improper installation or testing, or for any products that have been altered or modified in any way by a Customer. Moreover, The producer shall not be liable for any defects that result from Customer's design, specifications or instructions for such products. Testing and other quality control techniques are used to the extent the producer deems necessary.

1.2 If any products fail to conform to the warranty set forth above, the producer's sole liability shall be to replace such products. The producer's liability shall be limited to products that are determined by the producer not to conform to such warranty. If the producer elects to replace such products, the producer shall have a reasonable time to replacements. Replaced products shall be warranted for a new full warranty period.

1.3 EXCEPT AS SET FORTH ABOVE, PRODUCTS ARE PROVIDED "AS IS" AND "WITH ALL FAULTS." THE PRODUCER DISCLAIMS ALL OTHER WARRANTIES, EXPRESS OR IMPLIED, REGARDING PRODUCTS, INCLUDING BUT NOT LIMITED TO, ANY IMPLIED WARRANTIES OF MERCHANTABILITY OR FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE

1.4 Customer agrees that prior to using any systems that include the producer products, Customer will test such systems and the functionality of the products as used in such systems. The producer may provide technical, applications or design advice, quality characterization, reliability data or other services. Customer acknowledges and agrees that providing these services shall not expand or otherwise alter the producer's warranties, as set forth above, and no additional obligations or liabilities shall arise from the producer providing such services.

1.5 The Arduino™ products are not authorized for use in safety-critical applications where a failure of the product would reasonably be expected to cause severe personal injury or death. Safety-Critical Applications include, without limitation, life support devices and systems, equipment or systems for the operation of nuclear facilities and weapons systems. Arduino™ products are neither designed nor intended for use in military or aerospace applications or environments and for automotive applications or environment. Customer acknowledges and agrees that any such use of Arduino™ products which is solely at the Customer's risk, and that Customer is solely responsible for compliance with all legal and regulatory requirements in connection with such use.

1.6 Customer acknowledges and agrees that it is solely responsible for compliance with all legal, regulatory and safety-related requirements concerning its products and any use of Arduino™ products in Customer's applications, notwithstanding any applications-related information or support that may be provided by the producer.

2. Indemnification

The Customer acknowledges and agrees to defend, indemnify and hold harmless the producer from and against any and all third-party losses, damages, liabilities and expenses it incurs to the extent directly caused by: (i) an actual breach by a Customer of the representation and warranties made under this terms and conditions or (ii) the gross negligence or willful misconduct by the Customer.

3. Consequential Damages Waiver

In no event the producer shall be liable to the Customer or any third parties for any special, collateral, indirect, punitive, incidental, consequential or exemplary damages in connection with or arising out of the products provided hereunder, regardless of whether the producer has been advised of the possibility of such damages. This section will survive the termination of the warranty period.

4. Changes to specifications

The producer may make changes to specifications and product descriptions at any time, without notice. The Customer must not rely on the absence or characteristics of any features or instructions marked "reserved" or "undefined." The producer reserves these for future definition and shall have no responsibility whatsoever for conflicts or incompatibilities arising from future changes to them. The product information on the Web Site or Materials is subject to change without notice. Do not finalize a design with this information.



Environmental Policies



The producer of Arduino™ has joined the Impatto Zero® policy of LifeGate.it. For each Arduino board produced is created / looked after half squared Km of Costa Rica's forest's.



radiospares

RADIONICS



A 7.2 Sensor MQ-4 (Metano)

HANWEI ELECTRONICS

MQ-4

www.hwsensor.com

TECHNICAL DATA

MQ-4 GAS SENSOR

FEATURES

- * High sensitivity to CH₄ - Natural gas.
- * Small sensitivity to alcohol, smoke.
- * Fast response .
- * Stable and long life
- * Simple drive circuit

APPLICATION

They are used in gas leakage detecting equipments in family and industry, are suitable for detecting of CH₄, Natural gas LNG, avoid the noise of alcohol and cooking fumes and cigarette smoke.

SPECIFICATIONS

A. Standard work condition

Symbol	Parameter name	Technical condition	Remarks
V _c	Circuit voltage	5V=0.1	AC OR DC
V _H	Heating voltage	5V=0.1	AC OR DC
P _L	Load resistance	20K Ω	
R _H	Heater resistance	33 Ω ± 5%	Room Tem
P _H	Heating consumption	less than 750mw	

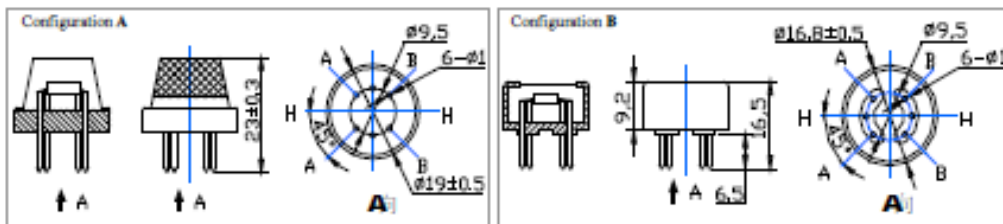
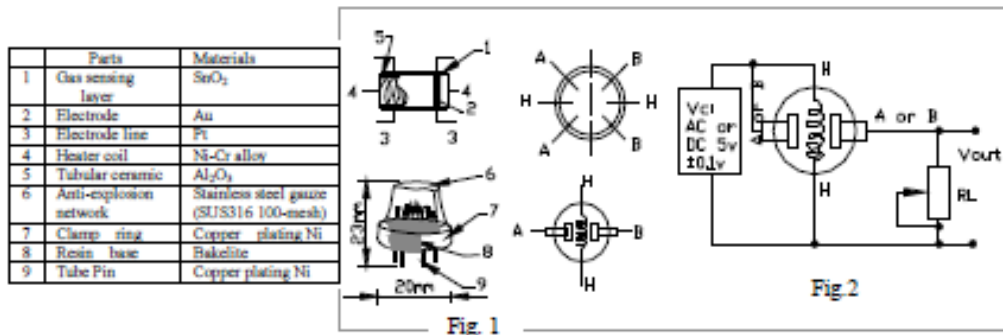
B. Environment condition

Symbol	Parameter name	Technical condition	Remarks
T _{ao}	Using Tem	-10℃-50℃	
T _{as}	Storage Tem	-20℃-70℃	
R _{rh}	Related humidity	less than 95%Rh	
O ₂	Oxygen concentration	21%(standard condition)Oxygen concentration can affect sensitivity	minimum value is over 2%

C. Sensitivity characteristic

Symbol	Parameter name	Technical parameter	Remark 2
R _s	Sensing Resistance	10K Ω - 60K Ω (1000ppm CH ₄)	Detecting concentration scope: 200-10000ppm CH ₄ , natural gas
α (1000ppm/ 5000ppm CH ₄)	Concentration slope rate	≤ 0.6	
Standard detecting condition	Temp: 20℃ ± 2℃ Humidity: 65% ± 5%	V _c : 5V=0.1 V _H : 5V=0.1	
Preheat time	Over 24 hour		

D. Structure and configuration, basic measuring circuit



TEL: 86-371-67169080

FAX: 86-371-67169090

E-mail: sales@hwsensor.com

Structure and configuration of MQ-4 gas sensor is shown as Fig. 1 (Configuration A or B), sensor composed by micro Al_2O_3 ceramic tube, Tin Dioxide (SnO_2) sensitive layer, measuring electrode and heater are fixed into a crust made by plastic and stainless steel net. The heater provides necessary work conditions for work of sensitive components. The enveloped MQ-4 have 6 pin, 4 of them are used to fetch signals, and other 2 are used for providing heating current.

Electric parameter measurement circuit is shown as Fig.2

E. Sensitivity characteristic curve

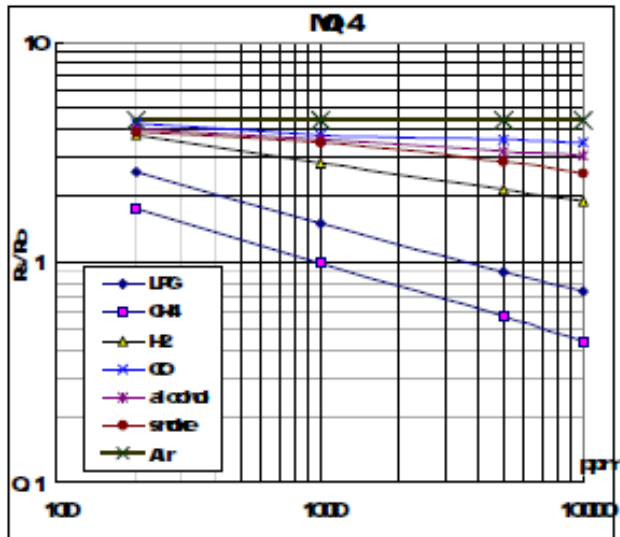


Fig.2 sensitivity characteristics of the MQ-4

Fig.3 is shows the typical sensitivity characteristics of the MQ-4 for several gases. in their: Temp: 20 °C, Humidity: 65%, O₂ concentration 21%, RL=20k Ω. R₀: sensor resistance at 1000ppm of CH₄ in the clean air. R: sensor resistance at various concentrations of gases.

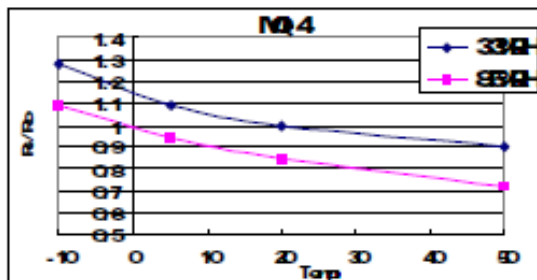


Fig.4 is shows the typical dependence of the MQ-4 on temperature and humidity. R₀: sensor resistance at 1000ppm of CH₄ in air at 33%RH and 20 degree. R: sensor resistance at 1000ppm of CH₄ in air at different temperatures and humidities.

SENSITIVITY ADJUSTMENT

Resistance value of MQ-4 is difference to various kinds and various concentration gases. So, When using this components, sensitivity adjustment is very necessary. we recommend that you calibrate the detector for 5000ppm of CH₄ concentration in air and use value of Load resistance (R_L) about 20K Ω (10K Ω to 47K Ω).

When accurately measuring, the proper alarm point for the gas detector should be determined after considering the temperature and humidity influence.

A 7.3 Sensor MQ-7 (Monóxido de carbono)

HANWEI ELECTRONICS CO., LTD

MQ-7

<http://www.hwsensor.com>

TECHNICAL DATA

MQ-7 GAS SENSOR

FEATURES

- * High sensitivity to carbon monoxide
- * Stable and long life

APPLICATION

They are used in gas detecting equipment for carbon monoxide(CO) in family and industry or car.

SPECIFICATIONS

A. Standard work condition

Symbol	Parameter name	Technical condition	Remark
Vc	circuit voltage	5V±0.1	Ac or Dc
VH (H)	Heating voltage (high)	5V±0.1	Ac or Dc
VH (L)	Heating voltage (low)	1.4V±0.1	Ac or Dc
RL	Load resistance	Can adjust	
RH	Heating resistance	33 Ω ± 5%	Room temperature
TH (H)	Heating time (high)	60 ± 1 seconds	
TH (L)	Heating time (low)	90 ± 1 seconds	
PH	Heating consumption	About 350mW	

b. Environment conditions

Symbol	Parameters	Technical conditions	Remark
Tao	Using temperature	-20℃-50℃	
Tas	Storage temperature	-20℃-50℃	Advice using scope
RH	Relative humidity	Less than 95%RH	
O ₂	Oxygen concentration	21%(stand condition) the oxygen concentration can affect the sensitivity characteristic	Minimum value is over 2%

c. Sensitivity characteristic

symbol	Parameters	Technical parameters	Remark
Rs	Surface resistance Of sensitive body	2-20k	In 100ppm Carbon Monoxide
a (300/100ppm)	Concentration slope rate	Less than 0.5	Rs (300ppm)/Rs(100ppm)
Standard working condition	Temperature	-20℃ ± 2℃	relative humidity 65% ± 5% RL:10K Ω ± 5%
	Vc:5V ± 0.1V	VH:5V ± 0.1V	
Preheat time	No less than 48 hours	Detecting range: 20ppm-2000ppm carbon monoxide	

D. Structure and configuration, basic measuring circuit

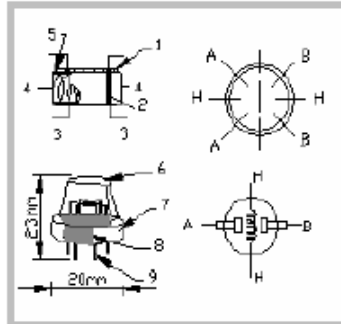
Structure and configuration of MQ-7 gas sensor is shown as Fig. 1 (Configuration A or B), sensor composed by micro AL₂O₃ ceramic tube, Tin Dioxide (SnO₂) sensitive layer, measuring electrode and heater are fixed into a crust made by plastic and stainless steel net. The heater provides necessary work conditions for work of sensitive components. The enveloped MQ-7 have

TEL:86-371-67169070 67169080

FAX:86-371-67169090

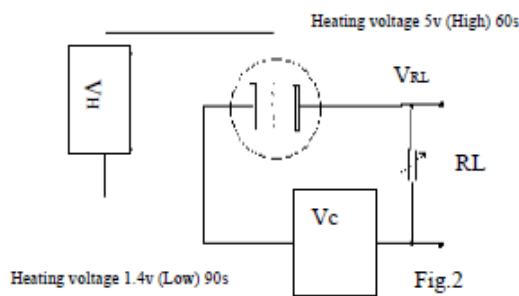
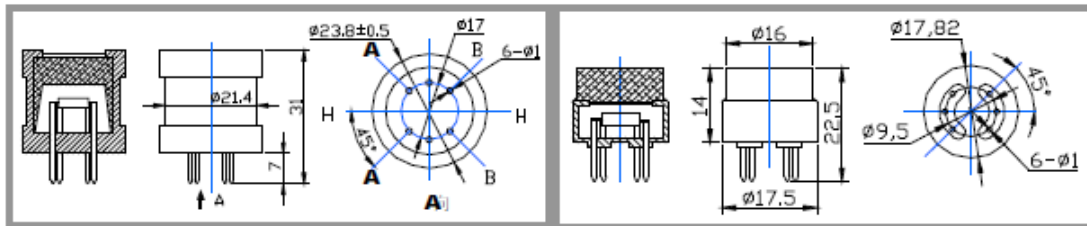
Email: sales@hwsensor.com

6 pin ,4 of them are used to fetch signals, and other 2 are used for providing heating current.



Parts	Materials
1 Gas sensing layer	SnO ₂
2 Electrode	Au
3 Electrode line	Pt
4 Heater coil	Ni-Cr alloy
5 Tubular ceramic	Al ₂ O ₃
6 Anti-explosion network	Stainless steel gauze (SUS316 100-mesh)
7 Clamp ring	Copper plating Ni
8 Resin base	Bakelite
9 Tube Pin	Copper plating Ni

Fig.1



Standard circuit:

As shown in Fig 2, standard measuring circuit of MQ-7 sensitive components consists of 2 parts. one is heating circuit having time control function (the high voltage and the low voltage work circularly). The second is the signal output circuit, it can accurately respond changes of surface resistance of the sensor.

Electric parameter measurement circuit is shown as Fig.2

E. Sensitivity characteristic curve

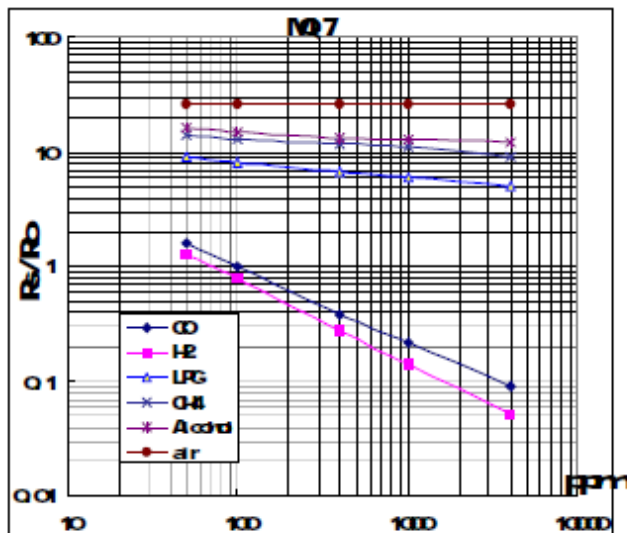


Fig.3 is shows the typical sensitivity characteristics of the MQ-7 for several gases.

in their: Temp: 20℃,
Humidity: 65%,
O₂ concentration 21%
RL=10k Ω

R₀: sensor resistance at 100ppm CO in the clean air.

R_s: sensor resistance at various concentrations of gases.

Fig.3 sensitivity characteristics of the MQ-7

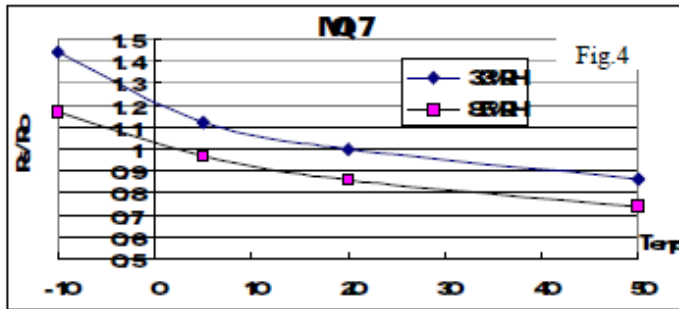


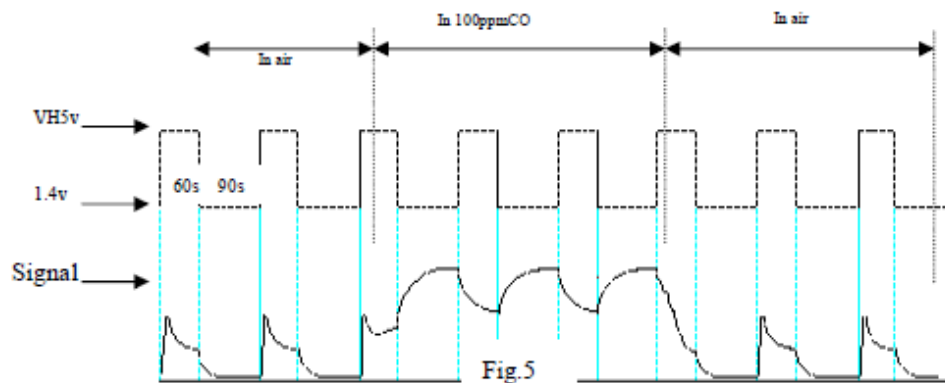
Fig.4 is shows the typical dependence of the MQ-7 on temperature and humidity.
 Ro: sensor resistance at 100ppm CO in air at 33%RH and 20degree.
 Rs: sensor resistance at 100ppm CO at different temperatures and humidities.

OPERATION PRINCIPLE

The surface resistance of the sensor R_s is obtained through effected voltage signal output of the load resistance R_L which series-wound. The relationship between them is described:

$$R_s \cdot R_L = (V_c - V_{RL}) / V_{RL}$$

Fig. 5 shows alterable situation of R_L signal output measured by using Fig. 2 circuit output



signal when the sensor is shifted from clean air to carbon monoxide (CO), output signal measurement is made within one or two complete heating period (2.5 minute from high voltage to low voltage).

Sensitive layer of MQ-7 gas sensitive components is made of SnO_2 with stability, So, it has excellent long term stability. Its service life can reach 5 years under using condition.

SENSITIVITY ADJUSTMENT

Resistance value of MQ-7 is difference to various kinds and various concentration gases. So, When using this components, sensitivity adjustment is very necessary. we recommend that you calibrate the detector for 200ppm CO in air and use value of Load resistance that(R_L) about $10 \text{ K } \Omega$ ($5 \text{ K } \Omega$ to $47 \text{ K } \Omega$).

When accurately measuring, the proper alarm point for the gas detector should be determined after considering the temperature and humidity influence. The sensitivity adjusting program:

- Connect the sensor to the application circuit.
- Turn on the power, keep preheating through electricity over 48 hours.
- Adjust the load resistance R_L until you get a signal value which is respond to a certain carbon monoxide concentration at the end point of 90 seconds.
- Adjust the another load resistance R_L until you get a signal value which is respond to a CO concentration at the end point of 60 seconds.

[Supplying special IC solutions, More detailed technical information, please contact us.](#)

A 7.4 Sensor MQ-135 (Dióxido de carbono y otros gases)

TECHNICAL DATA

MQ-135 GAS SENSOR

FEATURES

- Wide detecting scope
- Stable and long life
- Fast response and High sensitivity
- Simple drive circuit

APPLICATION

They are used in air quality control equipments for buildings/offices, are suitable for detecting of NH₃, NO_x, alcohol, Benzene, smoke, CO₂, etc.

SPECIFICATIONS

A. Standard work condition

Symbol	Parameter name	Technical condition	Remarks
V _c	Circuit voltage	5V±0.1	AC OR DC
V _H	Heating voltage	5V±0.1	AC OR DC
R _L	Load resistance	can adjust	
R _H	Heater resistance	33Ω±5%	Room Tem
P _H	Heating consumption	less than 800mw	

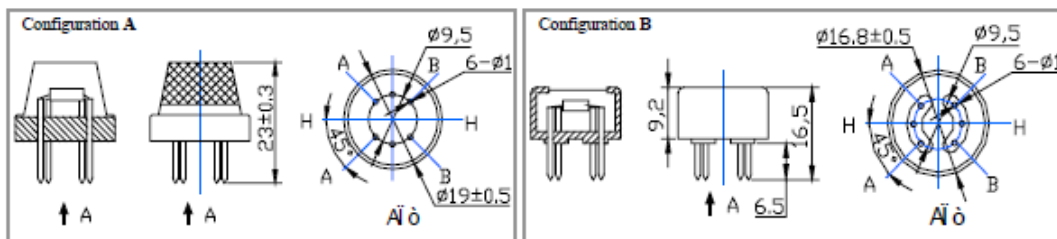
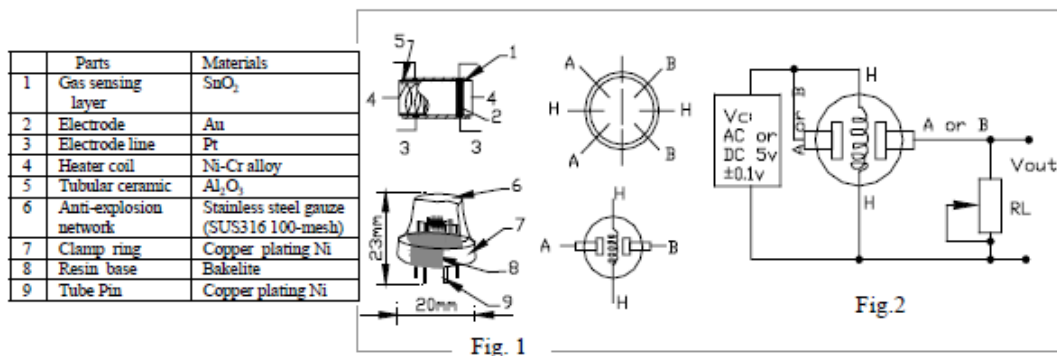
B. Environment condition

Symbol	Parameter name	Technical condition	Remarks
T _{ao}	Using Tem	-10□-45□	
T _{as}	Storage Tem	-20□-70□	
R _H	Related humidity	less than 95%Rh	
O ₂	Oxygen concentration	21%(standard condition)Oxygen concentration can affect sensitivity	minimum value is over 2%

C. Sensitivity characteristic

Symbol	Parameter name	Technical parameter	Remark 2
R _s	Sensing Resistance	30KΩ-200KΩ (100ppm NH ₃)	Detecting concentration scope 10ppm-300ppm NH ₃ 10ppm-1000ppm Benzene 10ppm-300ppm Alcohol
α (200/50) NH ₃	Concentration Slope rate	≤0.65	
Standard Detecting Condition	Temp: 20□±2□ Humidity: 65%±5%	V _c : 5V±0.1 V _H : 5V±0.1	
Preheat time	Over 24 hour		

D. Structure and configuration, basic measuring circuit



Structure and configuration of MQ-135 gas sensor is shown as Fig. 1 (Configuration A or B), sensor composed by micro AL₂O₃ ceramic tube, Tin Dioxide (SnO₂) sensitive layer, measuring electrode and heater are fixed into a crust made by plastic and stainless steel net. The heater provides necessary work conditions for work of sensitive

components. The enveloped MQ-135 have 6 pin ,4 of them are used to fetch signals, and other 2 are used for providing heating current.

Electric parameter measurement circuit is shown as Fig.2

E. Sensitivity characteristic curve

Fig.2 sensitivity characteristics of the MQ-135

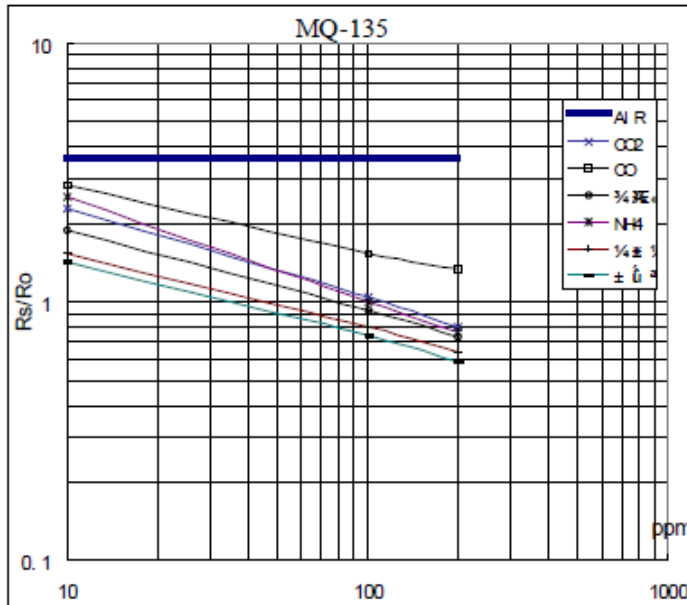


Fig.3 is shows the typical sensitivity characteristics of the MQ-135 for several gases. in their: Temp: 20° Humidity: 65% O₂ concentration 21% RL=20kΩ Ro: sensor resistance at 100ppm of NH₃ in the clean air. Rs: sensor resistance at various concentrations of gases.

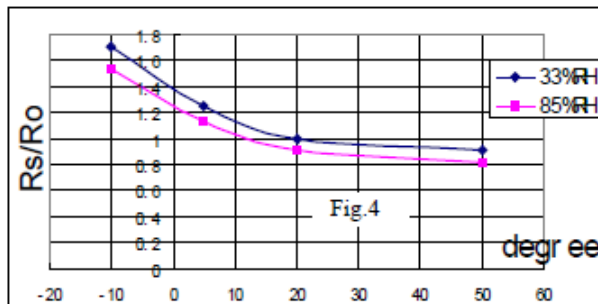


Fig.4 is shows the typical dependence of the MQ-135 on temperature and humidity. Ro: sensor resistance at 100ppm of NH₃ in air at 33%RH and 20 degree. Rs: sensor resistance at 100ppm of NH₃ at different temperatures and humidities.

SENSITIVITY ADJUSTMENT

Resistance value of MQ-135 is difference to various kinds and various concentration gases. So, When using this components, sensitivity adjustment is very necessary. we recommend that you calibrate the detector for 100ppm NH₃ or 50ppm Alcohol concentration in air and use value of Load resistance that (R_L) about 20 KΩ(10KΩ to 47 KΩ).

When accurately measuring, the proper alarm point for the gas detector should be determined after considering the temperature and humidity influence.



A 7.5 Chip MAX31855 (Cold-Junction Compensated Thermocouple to Digital Converter)



19-5793; Rev 2; 2/12

MAX31855

Cold-Junction Compensated Thermocouple-to-Digital Converter

General Description

The MAX31855 performs cold-junction compensation and digitizes the signal from a K-, J-, N-, T-, S-, R-, or E-type thermocouple. The data is output in a signed 14-bit, SPI-compatible, read-only format. This converter resolves temperatures to 0.25°C, allows readings as high as +1800°C and as low as -270°C, and exhibits thermocouple accuracy of $\pm 2^\circ\text{C}$ for temperatures ranging from -200°C to +700°C for K-type thermocouples. For full range accuracies and other thermocouple types, see the [Thermal Characteristics](#) specifications.

Applications

Industrial
Appliances
HVAC
Automotive

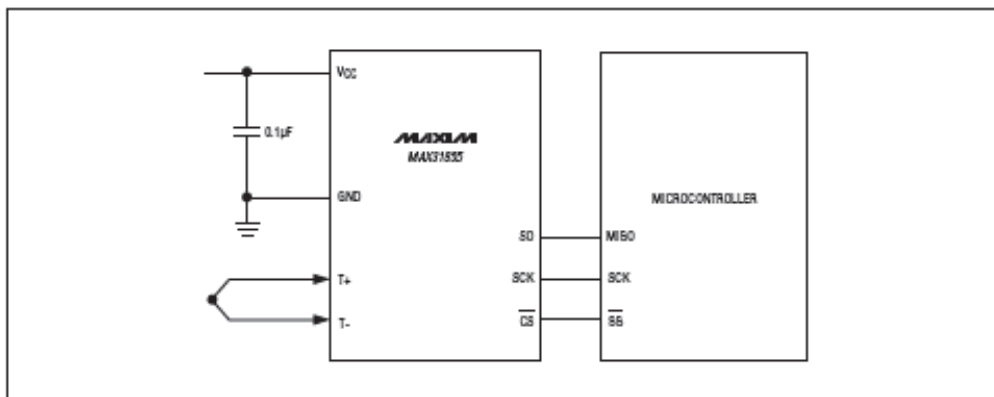
Features

- ◆ Cold-Junction Compensation
- ◆ 14-Bit, 0.25°C Resolution
- ◆ Versions Available for K-, J-, N-, T-, S-, R-, and E-Type Thermocouples (see [Table 1](#))
- ◆ Simple SPI-Compatible Interface (Read-Only)
- ◆ Detects Thermocouple Shorts to GND or Vcc
- ◆ Detects Open Thermocouple

[Ordering Information](#) appears at end of data sheet.

For related parts and recommended products to use with this part, refer to: www.maxim-ic.com/MAX31855_related

Typical Application Circuit



Maxim Integrated Products 1

For pricing, delivery, and ordering information, please contact Maxim Direct at 1-888-629-4642, or visit Maxim's website at www.maxim-ic.com.

MAX31855

Cold-Junction Compensated Thermocouple-to-Digital Converter

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Supply Voltage Range (VCC to GND).....	-0.3V to +4.0V	Operating Temperature Range.....	-40°C to +125°C
All Other Pins.....	-0.3V to (VCC + 0.3V)	Junction Temperature.....	+150°C
Continuous Power Dissipation (TA = +70°C)		Storage Temperature Range.....	-65°C to +150°C
SO (derate 5.9mW/°C above +70°C).....	470.6mW	Lead Temperature (soldering, 10s).....	+300°C
ESD Protection (All Pins, Human Body Model).....	±2kV	Soldering Temperature (reflow).....	+260°C

Stresses beyond those listed under "Absolute Maximum Ratings" may cause permanent damage to the device. These are stress ratings only, and functional operation of the device at these or any other conditions beyond those indicated in the operational sections of the specifications is not implied. Exposure to absolute maximum rating conditions for extended periods may affect device reliability.

PACKAGE THERMAL CHARACTERISTICS (Note 1)

SO	
Junction-to-Ambient Thermal Resistance (θJA).....	170°C/W
Junction-to-Case Thermal Resistance (θJC).....	40°C/W

Note 1: Package thermal resistances were obtained using the method described in JEDEC specification JESD61-7, using a four-layer board. For detailed information on package thermal considerations, refer to www.maxim-ic.com/thermal-tutorial.

RECOMMENDED OPERATING CONDITIONS

(TA = -40°C to +125°C, unless otherwise noted.)

PARAMETER	SYMBOL	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
Power-Supply Voltage	VCC	(Note 2)	3.0	3.3	3.6	V
Input Logic 0	VI_L		-0.3		+0.8	V
Input Logic 1	VI_H		2.1		VCC + 0.3	V

DC ELECTRICAL CHARACTERISTICS

(3.0V ≤ VCC ≤ 3.6V, TA = -40°C to +125°C, unless otherwise noted.)

PARAMETER	SYMBOL	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
Power-Supply Current	ICC			900	1500	μA
Thermocouple Input Bias Current		TA = -40°C to +125°C, 100mV across the thermocouple inputs	-100		+100	nA
Power-Supply Rejection				-0.3		°C/V
Power-On Reset Voltage Threshold	VPOR	(Note 3)		2	2.5	V
Power-On Reset Voltage Hysteresis				0.2		V
Output High Voltage	VOH	IOUT = -1.6mA	VCC - 0.4			V
Output Low Voltage	VOL	IOUT = 1.6mA			0.4	V

MAX31855

Cold-Junction Compensated Thermocouple-to-Digital Converter

THERMAL CHARACTERISTICS

(3.0V ≤ VCC ≤ 3.6V, T_A = -40°C to +125°C, unless otherwise noted.) (Note 4)

PARAMETER	SYMBOL	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
MAX31855K Thermocouple Temperature Gain and Offset Error (41.276μV/°C nominal sensitivity) (Note 4)		T _{THERMOCOUPLE} = -200°C to +700°C, T _A = -20°C to +85°C (Note 3)	-2		+2	°C
		T _{THERMOCOUPLE} = +700°C to +1350°C, T _A = -20°C to +85°C (Note 3)	-4		+4	
		T _{THERMOCOUPLE} = -270°C to +1372°C, T _A = -40°C to +125°C (Note 3)	-6		+6	
MAX31855J Thermocouple Temperature Gain and Offset Error (57.953μV/°C nominal sensitivity) (Note 4)		T _{THERMOCOUPLE} = -210°C to +750°C, T _A = -20°C to +85°C (Note 3)	-2		+2	°C
		T _{THERMOCOUPLE} = -210°C to +1200°C, T _A = -40°C to +125°C (Note 3)	-4		+4	
MAX31855N Thermocouple Temperature Gain and Offset Error (36.256μV/°C nominal sensitivity) (Note 4)		T _{THERMOCOUPLE} = -200°C to +700°C, T _A = -20°C to +85°C (Note 3)	-2		+2	°C
		T _{THERMOCOUPLE} = +700°C to +1300°C, T _A = -20°C to +85°C (Note 3)	-4		+4	
		T _{THERMOCOUPLE} = -270°C to +1300°C, T _A = -40°C to +125°C (Note 3)	-6		+6	
MAX31855T Thermocouple Temperature Gain and Offset Error (52.18μV/°C nominal sensitivity) (Note 4)		T _{THERMOCOUPLE} = -270°C to +400°C, T _A = -20°C to +85°C (Note 3)	-2		+2	°C
		T _{THERMOCOUPLE} = -270°C to +400°C, T _A = -40°C to +125°C (Note 3)	-4		+4	
MAX31855E Thermocouple Temperature Gain and Offset Error (76.373μV/°C nominal sensitivity) (Note 4)		T _{THERMOCOUPLE} = -200°C to +700°C, T _A = -20°C to +85°C (Note 3)	-2		+2	°C
		T _{THERMOCOUPLE} = +700°C to +1000°C, T _A = -20°C to +85°C (Note 3)	-3		+3	
		T _{THERMOCOUPLE} = -270°C to +1000°C, T _A = -40°C to +125°C (Note 3)	-5		+5	
MAX31855R Thermocouple Temperature Gain and Offset Error (10.506μV/°C nominal sensitivity) (Note 4)		T _{THERMOCOUPLE} = -50°C to +700°C, T _A = -20°C to +85°C (Note 3)	-2		+2	°C
		T _{THERMOCOUPLE} = +700°C to +1768°C, T _A = -20°C to +85°C (Note 3)	-4		+4	
		T _{THERMOCOUPLE} = -50°C to +1768°C, T _A = -40°C to +125°C (Note 3)	-6		+6	
MAX31855S Thermocouple Temperature Gain and Offset Error (9.587μV/°C nominal sensitivity) (Note 4)		T _{THERMOCOUPLE} = -50°C to +700°C, T _A = -20°C to +85°C (Note 3)	-2		+2	°C
		T _{THERMOCOUPLE} = +700°C to +1768°C, T _A = -20°C to +85°C (Note 3)	-4		+4	
		T _{THERMOCOUPLE} = -50°C to +1768°C, T _A = -40°C to +125°C (Note 3)	-6		+6	

MAX31855

Cold-Junction Compensated Thermocouple-to-Digital Converter

THERMAL CHARACTERISTICS (continued)

($3.0V \leq V_{CC} \leq 3.6V$, $T_A = -40^\circ\text{C}$ to $+125^\circ\text{C}$, unless otherwise noted.) (Note 4)

PARAMETER	SYMBOL	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
Thermocouple Temperature Data Resolution				0.25		$^\circ\text{C}$
Internal Cold-Junction Temperature Error		$T_A = -20^\circ\text{C}$ to $+85^\circ\text{C}$ (Note 3)	-2		+2	$^\circ\text{C}$
		$T_A = -40^\circ\text{C}$ to $+125^\circ\text{C}$ (Note 3)	-3		+3	
Cold-Junction Temperature Data Resolution		$T_A = -40^\circ\text{C}$ to $+125^\circ\text{C}$		0.0625		$^\circ\text{C}$
Temperature Conversion Time (Thermocouple, Cold Junction, Fault Detection)	t_{CONV}	(Note 5)		70	100	ms
Thermocouple Conversion Power-Up Time	t_{CONV_PU}	(Note 6)	200			ms

SERIAL-INTERFACE TIMING CHARACTERISTICS

(See [Figure 1](#) and [Figure 2](#).)

PARAMETER	SYMBOL	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
Input Leakage Current	I_{LEAK}	(Note 7)	-1		+1	μA
Input Capacitance	C_{IN}			8		pF
Serial-Clock Frequency	f_{SCL}				5	MHz
SCK Pulse-High Width	t_{CH}		100			ns
SCK Pulse-Low Width	t_{CL}		100			ns
SCK Rise and Fall Time					200	ns
\overline{CS} Fall to SCK Rise	t_{CSS}		100			ns
SCK to \overline{CS} Hold			100			ns
\overline{CS} Fall to Output Enable	t_{DV}				100	ns
\overline{CS} Rise to Output Disable	t_{TR}				40	ns
SCK Fall to Output Data Valid	t_{DO}				40	ns
\overline{CS} Inactive Time		(Note 3)	200			ns

Note 2: All voltages are referenced to GND. Currents entering the IC are specified positive, and currents exiting the IC are negative.

Note 3: Guaranteed by design; not production tested.

Note 4: Not including cold-junction temperature error or thermocouple nonlinearity.

Note 5: Specification is 100% tested at $T_A = +25^\circ\text{C}$. Specification limits over temperature ($T_A = T_{MIN}$ to T_{MAX}) are guaranteed by design and characterization; not production tested.

Note 6: Because the thermocouple temperature conversions begin at V_{POR} , depending on V_{CC} slew rates, the first thermocouple temperature conversion may not produce an accurate result. Therefore, the t_{CONV_PU} specification is required after V_{CC} is greater than V_{CCMIN} to guarantee a valid thermocouple temperature conversion result.

Note 7: For all pins except T+ and T- (see the Thermocouple Input Bias Current parameter in the [DC Electrical Characteristics](#) table).

MAX31855

Cold-Junction Compensated Thermocouple-to-Digital Converter

Serial-Interface Diagrams

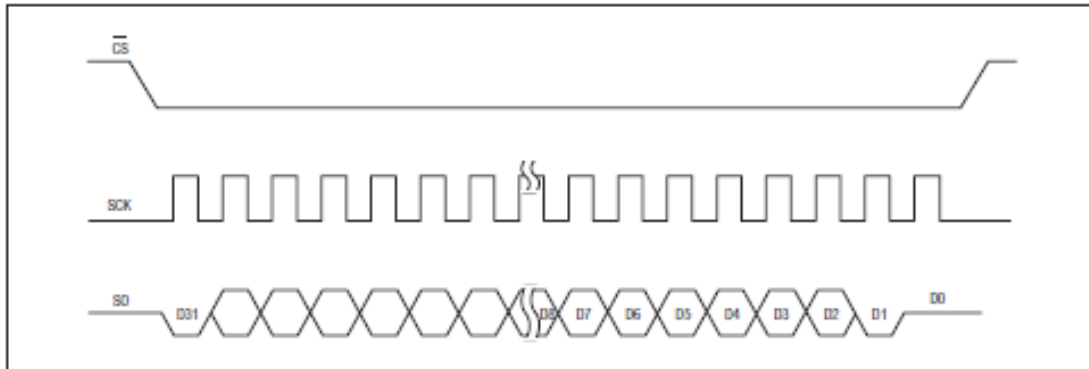


Figure 1. Serial-Interface Protocol

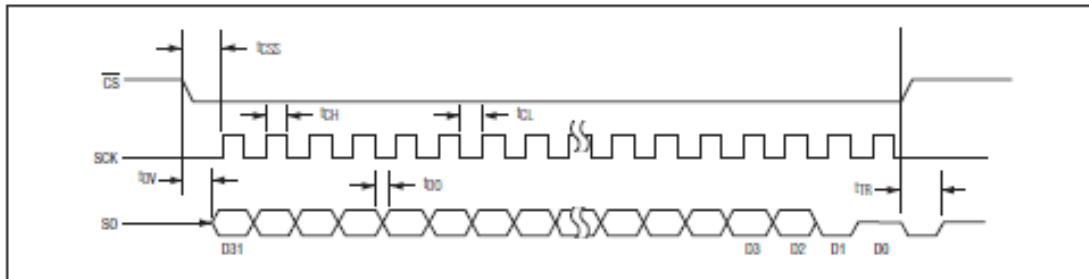


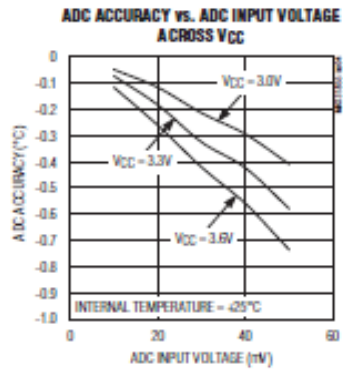
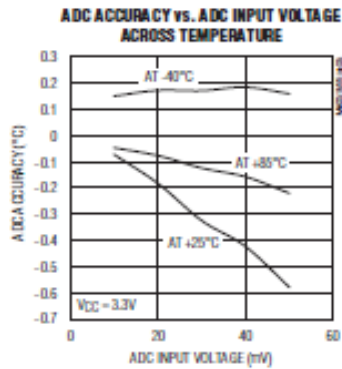
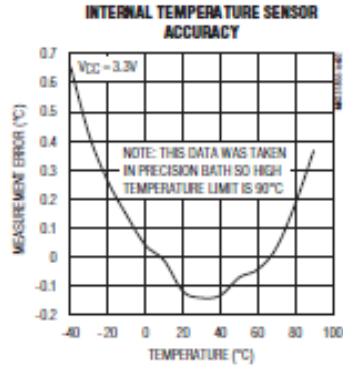
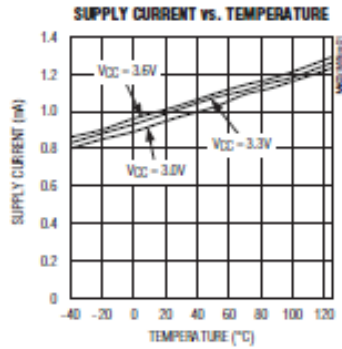
Figure 2. Serial-Interface Timing

MAX31855

Cold-Junction Compensated Thermocouple-to-Digital Converter

Typical Operating Characteristics

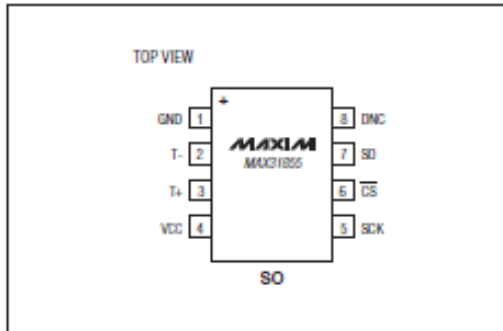
($V_{CC} = +3.3V$, $T_A = +25^\circ C$, unless otherwise noted.)



MAX31855

Cold-Junction Compensated Thermocouple-to-Digital Converter

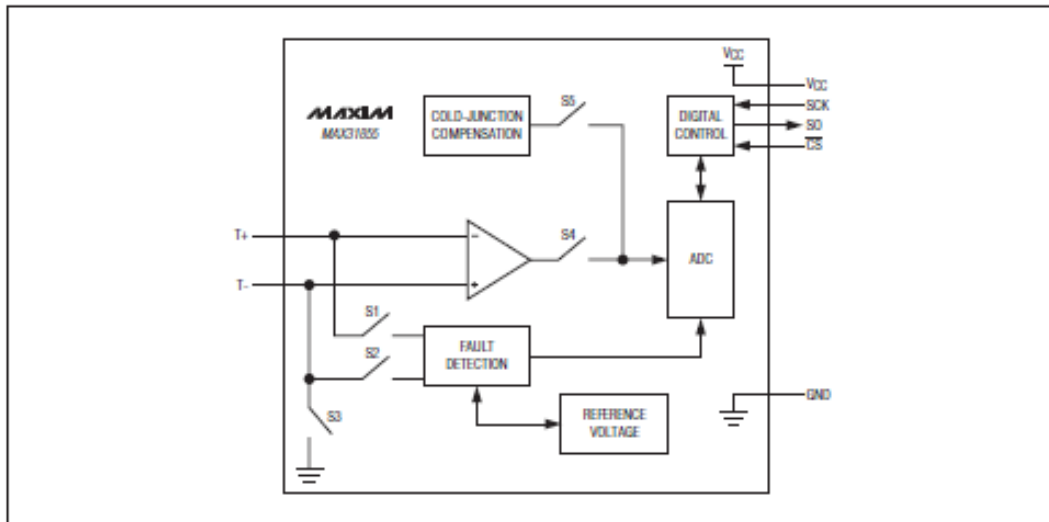
Pin Configuration



Pin Description

PIN	NAME	FUNCTION
1	GND	Ground
2	T-	Thermocouple Input. See Table 1. Do not connect to GND.
3	T+	Thermocouple Input. See Table 1.
4	VCC	Power-Supply Voltage
5	SCK	Serial-Clock Input
6	CS	Active-Low Chip Select. Set CS low to enable the serial interface.
7	SO	Serial-Data Output
8	DNC	Do Not Connect

Block Diagram



Cold-Junction Compensated Thermocouple-to-Digital Converter

Detailed Description

The MAX31855 is a sophisticated thermocouple-to-digital converter with a built-in 14-bit analog-to-digital converter (ADC). The device also contains cold-junction compensation sensing and correction, a digital controller, an SPI-compatible interface, and associated control logic. The device is designed to work in conjunction with an external microcontroller (μC) in thermostatic, process-control, or monitoring applications. The device is available in several versions, each optimized and trimmed for a specific thermocouple type (K, J, N, T, S, R, or E.). The thermocouple type is indicated in the suffix of the part number (e.g., MAX31855K). See the [Ordering Information](#) table for all options.

Temperature Conversion

The device includes signal-conditioning hardware to convert the thermocouple's signal into a voltage compatible with the input channels of the ADC. The T+ and T- inputs connect to internal circuitry that reduces the introduction of noise errors from the thermocouple wires. Before converting the thermoelectric voltages into equivalent temperature values, it is necessary to compensate

for the difference between the thermocouple cold-junction side (device ambient temperature) and a 0°C virtual reference. For a K-type thermocouple, the voltage changes by about $41\mu\text{V}/^\circ\text{C}$, which approximates the thermocouple characteristic with the following linear equation:

$$V_{\text{OUT}} = (41.276\mu\text{V}/^\circ\text{C}) \times (T_{\text{R}} - T_{\text{AMB}})$$

where V_{OUT} is the thermocouple output voltage (μV), T_{R} is the temperature of the remote thermocouple junction ($^\circ\text{C}$), and T_{AMB} is the temperature of the device ($^\circ\text{C}$).

Other thermocouple types use a similar straight-line approximation but with different gain terms. Note that the MAX31855 assumes a linear relationship between temperature and voltage. Because all thermocouples exhibit some level of nonlinearity, apply appropriate correction to the device's output data.

Cold-Junction Compensation

The function of the thermocouple is to sense a difference in temperature between two ends of the thermocouple wires. The thermocouple's "hot" junction can be read across the operating temperature range ([Table 1](#)). The reference junction, or "cold" end (which should be at

Table 1. Thermocouple Wire Connections and Nominal Sensitivities

TYPE	T- WIRE	T+ WIRE	TEMP RANGE ($^\circ\text{C}$)	SENSITIVITY ($\mu\text{V}/^\circ\text{C}$)	COLD-JUNCTION SENSITIVITY ($\mu\text{V}/^\circ\text{C}$) (0°C TO $+70^\circ\text{C}$)
K	Alumel	Chromel	-270 to +1372	41.276 (0°C to $+1000^\circ\text{C}$)	40.73
J	Constantan	Iron	-210 to +1200	57.953 (0°C to $+750^\circ\text{C}$)	52.136
N	NiSi	Nicrosil	-270 to +1300	36.256 (0°C to $+1000^\circ\text{C}$)	27.171
S	Platinum	Platinum/Rhodium	+50 to +1768	9.587 (0°C to $+1000^\circ\text{C}$)	6.181
T	Constantan	Copper	-270 to +400	52.18 (0°C to $+400^\circ\text{C}$)	41.56
E	Constantan	Chromel	-270 to +1000	76.373 (0°C to $+1000^\circ\text{C}$)	44.123
R	Platinum	Platinum/Rhodium	-50 to +1768	10.506 (0°C to $+1000^\circ\text{C}$)	6.158

MAX31855

Cold-Junction Compensated Thermocouple-to-Digital Converter

the same temperature as the board on which the device is mounted) can range from -55°C to +125°C. While the temperature at the cold end fluctuates, the device continues to accurately sense the temperature difference at the opposite end.

The device senses and corrects for the changes in the reference junction temperature with cold-junction compensation. It does this by first measuring its internal die temperature, which should be held at the same temperature as the reference junction. It then measures the voltage from the thermocouple's output at the reference junction and converts this to the noncompensated thermocouple temperature value. This value is then added to the device's die temperature to calculate the thermocouple's "hot junction" temperature. Note that the "hot junction" temperature can be lower than the cold junction (or reference junction) temperature.

Optimal performance from the device is achieved when the thermocouple cold junction and the device are at the same temperature. Avoid placing heat-generating devices or components near the MAX31855 because this could produce cold-junction-related errors.

Conversion Functions

During the conversion time, t_{CONV} , three functions are performed: the temperature conversion of the internal cold-junction temperature, the temperature conversion of the external thermocouple, and the detection of thermocouple faults.

When executing the temperature conversion for the internal cold-junction compensation circuit, the connection to signal from the external thermocouple is opened (switch S4) and the connection to the cold-junction compensation circuit is closed (switch S5). The internal T- reference to ground is still maintained (switch S3 is closed) and the connections to the fault-detection circuit are open (switches S1 and S2).

When executing the temperature conversion of the external thermocouple, the connections to the internal fault-detection circuit are opened (switches S1 and S2 in the *Block Diagram*) and the switch connecting the cold-junction compensation circuit is opened (switch S5). The internal ground reference connection (switch S3) and the connection to the ADC (switch S4) are closed. This allows the ADC to process the voltage detected across the T+ and T- terminals.

During fault detection, the connections from the external thermocouple and cold-junction compensation circuit to the ADC are opened (switches S4 and S5). The internal ground reference on T- is also opened (switch S3). The connections to the internal fault-detection circuit are closed (switch S1 and S2). The fault-detection circuit tests for shorted connections to VCC or GND on the T+ and T- inputs, as well as looking for an open thermocouple condition. Bits D0, D1, and D2 of the output data are normally low. Bit D2 goes high to indicate a thermocouple short to VCC, bit D1 goes high to indicate a thermocouple short to GND, and bit D0 goes high to indicate a thermocouple open circuit. If any of these conditions exists, bit D16 of the SO output data, which is normally low, also goes high to indicate that a fault has occurred.

Serial Interface

The *Typical Application Circuit* shows the device interfaced with a microcontroller. In this example, the device processes the reading from the thermocouple and transmits the data through a serial interface. Drive \overline{CS} low and apply a clock signal at SCK to read the results at SO. Conversions are always being performed in the background. The fault and temperature data are only be updated when \overline{CS} is high.

Drive \overline{CS} low to output the first bit on the SO pin. A complete serial-interface read of the cold-junction compensated thermocouple temperature requires 14 clock cycles. Thirty-two clock cycles are required to read both the thermocouple and reference junction temperatures ([Table 2](#) and [Table 3](#).) The first bit, D31, is the thermocouple temperature sign bit, and is presented to the SO pin within t_{DV} of the falling edge of \overline{CS} . Bits D[30:18] contain the converted temperature in the order of MSB to LSB, and are presented to the SO pin within t_{DO} of the falling edge of SCK. Bit D16 is normally low and goes high when the thermocouple input is open or shorted to GND or VCC. The reference junction temperature data begins with D15. \overline{CS} can be taken high at any point while clocking out conversion data. If T+ and T- are unconnected, the thermocouple temperature sign bit (D31) is 0, and the remainder of the thermocouple temperature value (D[30:18]) is 1.

[Figure 1](#) and [Figure 2](#) show the serial-interface timing and order. [Table 2](#) and [Table 3](#) show the SO output bit weights and functions.

Cold-Junction Compensated Thermocouple-to-Digital Converter

Table 2. Memory Map—Bit Weights and Functions

BIT	14-BIT THERMOCOUPLE TEMPERATURE DATA				RES	FAULT BIT	12-BIT INTERNAL TEMPERATURE DATA				RES	SCV BIT	SCG BIT	OC BIT
	D31	D30	...	D18	D17	D16	D15	D14	...	D4	D3	D2	D1	D0
VALUE	Sign	MSB 2^{10} (1024°C)	...	LSB 2^{-2} (0.25°C)	Reserved	1 = Fault	Sign	MSB 2^6 (64°C)	...	LSB 2^{-4} (0.0625°C)	Reserved	1 = Short to V_{CC}	1 = Short to GND	1 = Open Circuit

Table 3. Memory Map—Descriptions

BIT	NAME	DESCRIPTION
D[31:18]	14-Bit Thermocouple Temperature Data	These bits contain the signed 14-bit thermocouple temperature value. See Table 4 .
D17	Reserved	This bit always reads 0.
D16	Fault	This bit reads at 1 when any of the SCV, SCG, or OC faults are active. Default value is 0.
D[15:4]	12-Bit Internal Temperature Data	These bits contain the signed 12-bit value of the reference junction temperature. See Table 5 .
D3	Reserved	This bit always reads 0.
D2	SCV Fault	This bit is a 1 when the thermocouple is short-circuited to V_{CC} . Default value is 0.
D1	SCG Fault	This bit is a 1 when the thermocouple is short-circuited to GND. Default value is 0.
D0	OC Fault	This bit is a 1 when the thermocouple is open (no connections). Default value is 0.

Table 4. Thermocouple Temperature Data Format

TEMPERATURE (°C)	DIGITAL OUTPUT (D[31:18])
+1600.00	0110 0100 0000 00
+1000.00	0011 1110 1000 00
+100.75	0000 0110 0100 11
+25.00	0000 0001 1001 00
0.00	0000 0000 0000 00
-0.25	1111 1111 1111 11
-1.00	1111 1111 1111 00
-250.00	1111 0000 0110 00

Table 5. Reference Junction Temperature Data Format

TEMPERATURE (°C)	DIGITAL OUTPUT (D[15:4])
+127.0000	0111 1111 0000
+100.5625	0110 0100 1001
+25.0000	0001 1001 0000
0.0000	0000 0000 0000
-0.0625	1111 1111 1111
-1.0000	1111 1111 0000
-20.0000	1110 1100 0000
-55.0000	1100 1001 0000

Note: The practical temperature ranges vary with the thermocouple type.

MAX31855

Cold-Junction Compensated Thermocouple-to-Digital Converter

Applications Information

Noise Considerations

Because of the small signal levels involved, thermocouple temperature measurement is susceptible to power-supply coupled noise. The effects of power-supply noise can be minimized by placing a 0.1 μ F ceramic bypass capacitor close to the V_{CC} pin of the device and to GND.

The input amplifier is a low-noise amplifier designed to enable high-precision input sensing. Keep the thermocouple and connecting wires away from electrical noise sources. It is strongly recommended to add a 10nF ceramic surface-mount differential capacitor, placed across the T+ and T- pins, in order to filter noise on the thermocouple lines.

Thermal Considerations

Self-heating degrades the device's temperature measurement accuracy in some applications. The magnitude of the temperature errors depends on the thermal conductivity of the device package, the mounting technique, and the effects of airflow. Use a large ground plane to improve the device's temperature measurement accuracy.

The thermocouple system's accuracy can also be improved by following these precautions:

- Use the largest wire possible that does not shunt heat away from the measurement area.
- If a small wire is required, use it only in the region of the measurement, and use extension wire for the region with no temperature gradient.
- Avoid mechanical stress and vibration, which could strain the wires.
- When using long thermocouple wires, use a twisted pair extension wire.
- Avoid steep temperature gradients.
- Try to use the thermocouple wire well within its temperature rating.
- Use the proper sheathing material in hostile environments to protect the thermocouple wire.
- Use extension wire only at low temperatures and only in regions of small gradients.
- Keep an event log and a continuous record of thermocouple resistance.

MAX31855

Cold-Junction Compensated Thermocouple-to-Digital Converter

Ordering Information

PART	THERMOCOUPLE TYPE	MEASURED TEMP RANGE	PIN-PACKAGE
MAX31855KASA+	K	-200°C to +1350°C	8 SO
MAX31855KASA+T	K	-200°C to +1350°C	8 SO
MAX31855JASA+	J	-40°C to +750°C	8 SO
MAX31855JASA+T	J	-40°C to +750°C	8 SO
MAX31855NASA+	N	-200°C to +1300°C	8 SO
MAX31855NASA+T	N	-200°C to +1300°C	8 SO
MAX31855SASA+	S	+50°C to +1600°C	8 SO
MAX31855SASA+T	S	+50°C to +1600°C	8 SO
MAX31855TASA+	T	-250°C to +400°C	8 SO
MAX31855TASA+T	T	-250°C to +400°C	8 SO
MAX31855EASA+	E	-40°C to +900°C	8 SO
MAX31855EASA+T	E	-40°C to +900°C	8 SO
MAX31855RASA+	R	-50°C to +1770°C	8 SO
MAX31855RASA+T	R	-50°C to +1770°C	8 SO

Note: All devices are specified over the -40°C to +125°C operating temperature range.

+ Denotes a lead(Pb)-free/RoHS-compliant package.

T = Tape and reel.

Package Information

For the latest package outline information and land patterns (footprints), go to www.maxim-ic.com/packages. Note that a "+", "#", or "-" in the package code indicates RoHS status only. Package drawings may show a different suffix character, but the drawing pertains to the package regardless of RoHS status.

PACKAGE TYPE	PACKAGE CODE	OUTLINE NO.	LAND PATTERN NO.
8 SO	S8+4	21-0041	90-0096

MAX31855

Cold-Junction Compensated Thermocouple-to-Digital Converter

Revision History

REVISION NUMBER	REVISION DATE	DESCRIPTION	PAGES CHANGED
0	3/11	Initial release	—
1	11/11	Corrected ESD protection value; added "S" and "R" type specifications	1, 2, 3, 8, 12
2	2/12	Corrected the thermocouple temperature conditions in the <i>Thermal Characteristics</i> table and Table 1; added clarification to the <i>Serial Interface</i> section to help users better understand how to communicate with the device; added a recommendation to add a 10nF differential capacitor to the T+/T- pins in the <i>Noise Considerations</i> section	3, 8, 9, 11

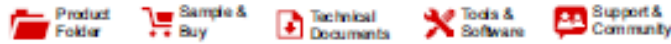
Maxim cannot assume responsibility for use of any circuitry other than circuitry entirely embodied in a Maxim product. No circuit patent licenses are implied. Maxim reserves the right to change the circuitry and specifications without notice at any time. The parametric values (min and max limits) shown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

Maxim Integrated Products, 120 San Gabriel Drive, Sunnyvale, CA 94086 408-737-7600 _____ 13

© 2012 Maxim Integrated Products

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

A 7.6 Circuito Integrado L293D (Quadruple Half-H Drivers)



L293, L293D

SLRS008D – SEPTEMBER 1986 – REVISED JANUARY 2016

L293x Quadruple Half-H Drivers

1 Features

- Wide Supply-Voltage Range: 4.5 V to 36 V
- Separate Input-Logic Supply
- Internal ESD Protection
- High-Noise-Immunity Inputs
- Output Current 1 A Per Channel (600 mA for L293D)
- Peak Output Current 2 A Per Channel (1.2 A for L293D)
- Output Clamp Diodes for Inductive Transient Suppression (L293D)

2 Applications

- Stepper Motor Drivers
- DC Motor Drivers
- Latching Relay Drivers

3 Description

The L293 and L293D devices are quadruple high-current half-H drivers. The L293 is designed to provide bidirectional drive currents of up to 1 A at voltages from 4.5 V to 36 V. The L293D is designed to provide bidirectional drive currents of up to 600-mA at voltages from 4.5 V to 36 V. Both devices are designed to drive inductive loads such as relays, solenoids, DC and bipolar stepping motors, as well as other high-current/high-voltage loads in positive-supply applications.

Each output is a complete totem-pole drive circuit, with a Darlington transistor sink and a pseudo-Darlington source. Drivers are enabled in pairs, with drivers 1 and 2 enabled by 1,2EN and drivers 3 and 4 enabled by 3,4EN.

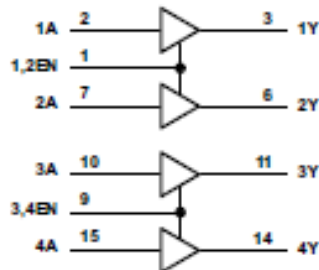
The L293 and L293D are characterized for operation from 0°C to 70°C.

Device Information⁽¹⁾

PART NUMBER	PACKAGE	BODY SIZE (NOM)
L293NE	PDIP (16)	19.80 mm X 6.35 mm
L293DNE	PDIP (16)	19.80 mm X 6.35 mm

(1) For all available packages, see the orderable addendum at the end of the data sheet.

Logic Diagram



An IMPORTANT NOTICE at the end of this data sheet addresses availability, warranty, changes, use in safety-critical applications, intellectual property matters and other important disclaimers. PRODUCTION DATA.

Table of Contents

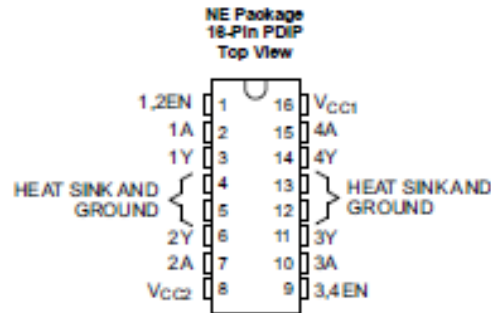
1 Features	1	8.3 Feature Description	7
2 Applications	1	8.4 Device Functional Modes	8
3 Description	1	9 Application and Implementation	9
4 Revision History	2	9.1 Application Information.....	9
5 Pin Configuration and Functions	3	9.2 Typical Application.....	9
6 Specifications	4	9.3 System Examples.....	10
6.1 Absolute Maximum Ratings.....	4	10 Power Supply Recommendations	13
6.2 ESD Ratings.....	4	11 Layout	14
6.3 Recommended Operating Conditions.....	4	11.1 Layout Guidelines.....	14
6.4 Thermal Information.....	4	11.2 Layout Example.....	14
6.5 Electrical Characteristics.....	5	12 Device and Documentation Support	15
6.6 Switching Characteristics.....	5	12.1 Related Links.....	15
6.7 Typical Characteristics.....	5	12.2 Community Resources.....	15
7 Parameter Measurement Information	6	12.3 Trademarks.....	15
8 Detailed Description	7	12.4 Electrostatic Discharge Caution.....	15
8.1 Overview.....	7	12.5 Glossary.....	15
8.2 Functional Block Diagram.....	7	13 Mechanical, Packaging, and Orderable Information	15

4 Revision History

NOTE: Page numbers for previous revisions may differ from page numbers in the current version.

Changes from Revision C (November 2004) to Revision D	Page
• Removed <i>Ordering Information</i> table.....	1
• Added <i>ESD Ratings and Thermal Information</i> tables, <i>Feature Description</i> section, <i>Device Functional Modes</i> , <i>Application and Implementation</i> section, <i>Power Supply Recommendations</i> section, <i>Layout</i> section, <i>Device and Documentation Support</i> section, and <i>Mechanical, Packaging, and Orderable Information</i> section.	1

5 Pin Configuration and Functions



Pin Functions

PIN		TYPE	DESCRIPTION
NAME	NO.		
1,2EN	1	I	Enable driver channels 1 and 2 (active high input)
<1:4>A	2, 7, 10, 15	I	Driver inputs, noninverting
<1:4>Y	3, 6, 11, 14	O	Driver outputs
3,4EN	9	I	Enable driver channels 3 and 4 (active high input)
GROUND	4, 5, 12, 13	—	Device ground and heat sink pin. Connect to printed-circuit-board ground plane with multiple solid vias
V _{CC1}	16	—	5-V supply for internal logic translation
V _{CC2}	8	—	Power VCC for drivers 4.5 V to 36 V



L293, L293D

SLRS006D – SEPTEMBER 1986 – REVISED JANUARY 2016

www.ti.com

6 Specifications

6.1 Absolute Maximum Ratings

over operating free-air temperature range (unless otherwise noted)⁽¹⁾

	MIN	MAX	UNIT
Supply voltage, V_{CC1} ⁽²⁾		36	V
Output supply voltage, V_{CC2}		36	V
Input voltage, V_I		7	V
Output voltage, V_O	-3	$V_{CC2} + 3$	V
Peak output current, I_O (nonrepetitive, $t \leq 5$ ms): L293	-2	2	A
Peak output current, I_O (nonrepetitive, $t \leq 100$ μ s): L293D	-1.2	1.2	A
Continuous output current, I_O : L293	-1	1	A
Continuous output current, I_O : L293D	-600	600	mA
Maximum junction temperature, T_J		150	$^{\circ}$ C
Storage temperature, T_{stg}	-65	150	$^{\circ}$ C

- (1) Stresses beyond those listed under Absolute Maximum Ratings may cause permanent damage to the device. These are stress ratings only, which do not imply functional operation of the device at these or any other conditions beyond those indicated under Recommended Operating Conditions. Exposure to absolute-maximum-rated conditions for extended periods may affect device reliability.
- (2) All voltage values are with respect to the network ground terminal.

6.2 ESD Ratings

	VALUE	UNIT
V_{ESD} Electrostatic discharge	Human-body model (HBM), per ANSI/ESDA/JEDEC JS-001 ⁽¹⁾	± 2000
	Charged-device model (CDM), per JEDEC specification JESD22-C101 ⁽²⁾	± 1000

- (1) JEDEC document JEP155 states that 500-V HBM allows safe manufacturing with a standard ESD control process.
- (2) JEDEC document JEP157 states that 250-V CDM allows safe manufacturing with a standard ESD control process.

6.3 Recommended Operating Conditions

over operating free-air temperature range (unless otherwise noted)

	MIN	NOM	MAX	UNIT
Supply voltage	V_{CC1}	4.5	7	V
	V_{CC2}	V_{CC1}	36	
V_{IH} High-level input voltage	$V_{CC1} \pm 7$ V	2.3	V_{CC1}	V
	$V_{CC1} \pm 7$ V	2.3	7	V
V_{OL} Low-level output voltage		-0.3 ⁽¹⁾	1.5	V
T_A Operating free-air temperature		0	70	$^{\circ}$ C

- (1) The algebraic convention, in which the least positive (most negative) designated minimum, is used in this data sheet for logic voltage levels.

6.4 Thermal Information

THERMAL METRIC ⁽¹⁾	L293, L293D		UNIT
	NE (PDIP)		
	18 PINS		
$R_{\theta JA}$ Junction-to-ambient thermal resistance ⁽²⁾		36.4	$^{\circ}$ C/W
$R_{\theta JC(top)}$ Junction-to-case (top) thermal resistance		22.5	$^{\circ}$ C/W
$R_{\theta JB}$ Junction-to-board thermal resistance		16.5	$^{\circ}$ C/W
Ψ_{JT} Junction-to-top characterization parameter		7.1	$^{\circ}$ C/W
Ψ_{JB} Junction-to-board characterization parameter		16.3	$^{\circ}$ C/W

- (1) For more information about traditional and new thermal metrics, see the Semiconductor and IC Package Thermal Metrics application report, [SPRA953](#).
- (2) The package thermal impedance is calculated in accordance with JEBS 51-7.

6.5 Electrical Characteristics

over operating free-air temperature range (unless otherwise noted)

PARAMETER		TEST CONDITIONS		MIN	TYP	MAX	UNIT
V _{OH}	High-level output voltage	L293: I _{OH} = -1 A		V _{CC2} - 1.8	V _{CC2} - 1.4		V
		L293D: I _{OH} = -0.6 A					
V _{OL}	Low-level output voltage	L293: I _{OL} = 1 A			1.2	1.8	V
		L293D: I _{OL} = 0.6 A					
V _{OKH}	High-level output clamp voltage	L293D: I _{OK} = -0.6 A			V _{CC2} + 1.3		V
V _{OKL}	Low-level output clamp voltage	L293D: I _{OK} = 0.6 A			1.3		V
I _H	High-level input current	A	V _I = 7 V		0.2	100	μA
		EN			0.2	10	
I _L	Low-level input current	A	V _I = 0		-3	-10	μA
		EN			-2	-100	
I _{CC1}	Logic supply current	I _O = 0	All outputs at high level		13	22	mA
			All outputs at low level		35	60	
			All outputs at high impedance		8	24	
I _{CC2}	Output supply current	I _O = 0	All outputs at high level		14	24	mA
			All outputs at low level		2	6	
			All outputs at high impedance		2	4	

6.6 Switching Characteristics

over operating free-air temperature range (unless otherwise noted) V_{CC1} = 5 V, V_{CC2} = 24 V, T_A = 25°C

PARAMETER		TEST CONDITIONS		MIN	TYP	MAX	UNIT
t _{PLH}	Propagation delay time, low-to-high-level output from A input	L293NE, L293DNE			800		ns
		L293DWP, L293N L293DN			750		
t _{PHL}	Propagation delay time, high-to-low-level output from A input	L293NE, L293DNE			400		ns
		L293DWP, L293N L293DN		C _L = 30 pF, See Figure 2	200		
t _{TLH}	Transition time, low-to-high-level output	L293NE, L293DNE			300		ns
		L293DWP, L293N L293DN			100		
t _{THL}	Transition time, high-to-low-level output	L293NE, L293DNE			300		ns
		L293DWP, L293N L293DN			350		

6.7 Typical Characteristics

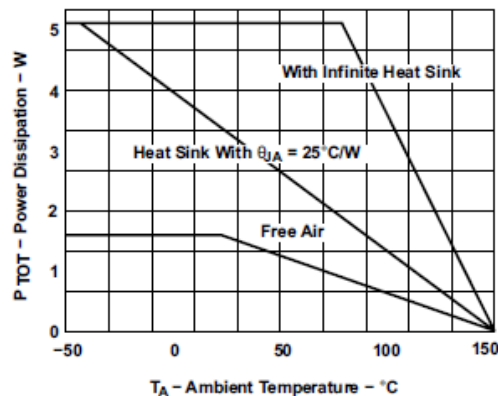
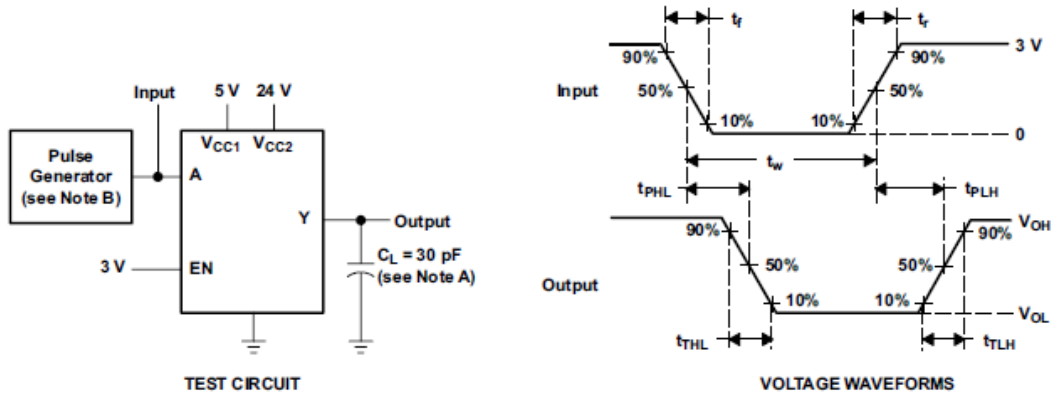


Figure 1. Maximum Power Dissipation vs Ambient Temperature

7 Parameter Measurement Information



- NOTES: A. C_L includes probe and jig capacitance.
 B. The pulse generator has the following characteristics: $t_r \leq 10$ ns, $t_f \leq 10$ ns, $t_w = 10$ μ s, PRR = 5 kHz, $Z_O = 50$ Ω .

Figure 2. Test Circuit and Voltage Waveforms

8 Detailed Description

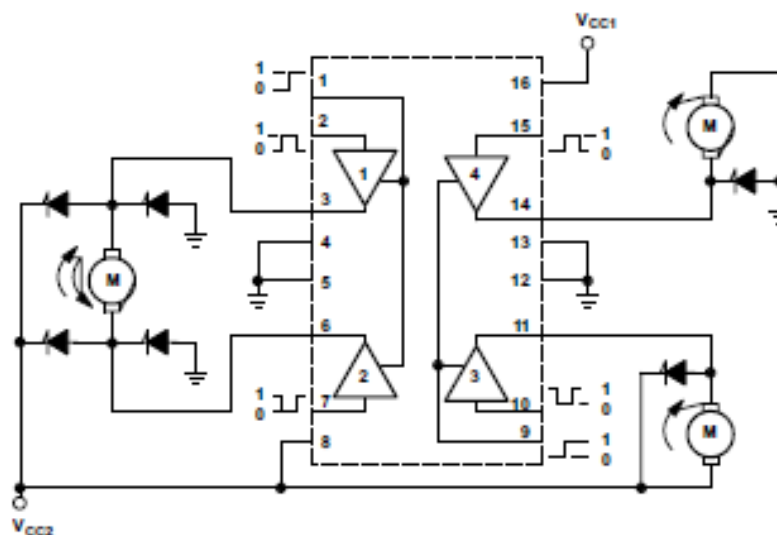
8.1 Overview

The L293 and L293D are quadruple high-current half-H drivers. These devices are designed to drive a wide array of inductive loads such as relays, solenoids, DC and bipolar stepping motors, as well as other high-current and high-voltage loads. All inputs are TTL compatible and tolerant up to 7 V.

Each output is a complete totem-pole drive circuit, with a Darlington transistor sink and a pseudo-Darlington source. Drivers are enabled in pairs, with drivers 1 and 2 enabled by 1,2EN and drivers 3 and 4 enabled by 3,4EN. When an enable input is high, the associated drivers are enabled, and their outputs are active and in phase with their inputs. When the enable input is low, those drivers are disabled, and their outputs are off and in the high-impedance state. With the proper data inputs, each pair of drivers forms a full-H (or bridge) reversible drive suitable for solenoid or motor applications.

On the L293, external high-speed output clamp diodes should be used for inductive transient suppression. On the L293D, these diodes are integrated to reduce system complexity and overall system size. A V_{CC1} terminal, separate from V_{CC2} , is provided for the logic inputs to minimize device power dissipation. The L293 and L293D are characterized for operation from 0°C to 70°C.

8.2 Functional Block Diagram



Output diodes are internal in L293D.

8.3 Feature Description

The L293x has TTL-compatible inputs and high voltage outputs for inductive load driving. Current outputs can get up to 2 A using the L293.

8.4 Device Functional Modes

Table 1 lists the functional modes of the L293x.

Table 1. Function Table (Each Driver)⁽¹⁾

INPUTS ⁽²⁾		OUTPUT (Y)
A	EN	
H	H	H
L	H	L
X	L	Z

(1) H = high level, L = low level, X = irrelevant, Z = high impedance (off)
 (2) In the thermal shutdown mode, the output is in the high-impedance state, regardless of the input levels.

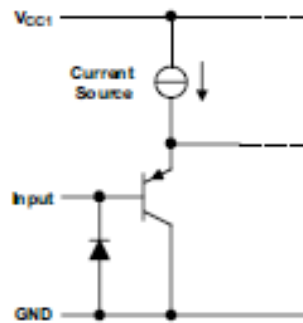


Figure 3. Schematic of Inputs for the L293x

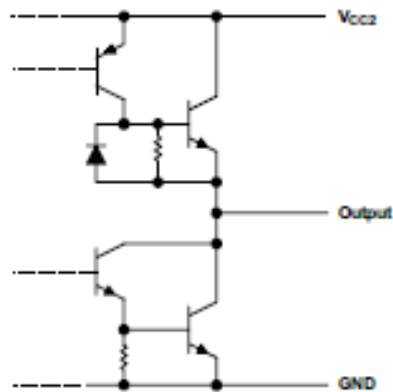


Figure 4. Schematic of Outputs for the L293

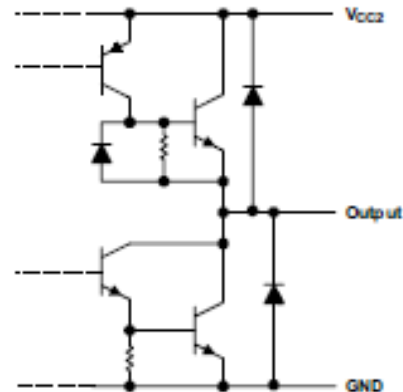


Figure 5. Schematic of Outputs for the L293D

9 Application and Implementation

NOTE

Information in the following applications sections is not part of the TI component specification, and TI does not warrant its accuracy or completeness. TI's customers are responsible for determining suitability of components for their purposes. Customers should validate and test their design implementation to confirm system functionality.

9.1 Application Information

A typical application for the L293 device is driving a two-phase motor. Below is an example schematic displaying how to properly connect a two-phase motor to the L293 device.

Provide a 5-V supply to V_{CC1} and valid logic input levels to data and enable inputs. V_{CC2} must be connected to a power supply capable of supplying the needed current and voltage demand for the loads connected to the outputs.

9.2 Typical Application

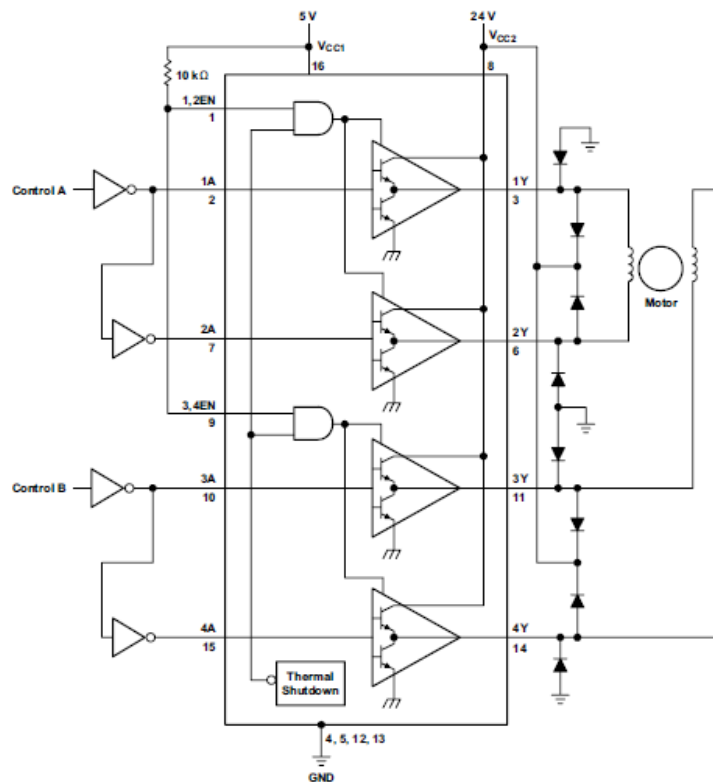


Figure 6. Two-Phase Motor Driver (L293)

9.2.1 Design Requirements

The design techniques in the application above as well as the applications below should fall within the following design requirements.

1. V_{CC1} should fall within the limits described in the [Recommended Operating Conditions](#).
2. V_{CC2} should fall within the limits described in the [Recommended Operating Conditions](#).
3. The current per channel should not exceed 1 A for the L293 (600mA for the L293D).

9.2.2 Detailed Design Procedure

When designing with the L293 or L293D, careful consideration should be made to ensure the device does not exceed the operating temperature of the device. Proper heatsinking will allow for operation over a larger range of current per channel. Refer to the [Power Supply Recommendations](#) as well as the [Layout Example](#).

Typical Application (continued)

9.2.3 Application Curve

Refer to [Power Supply Recommendations](#) for additional information with regards to appropriate power dissipation. Figure 7 describes thermal dissipation based on Figure 14.

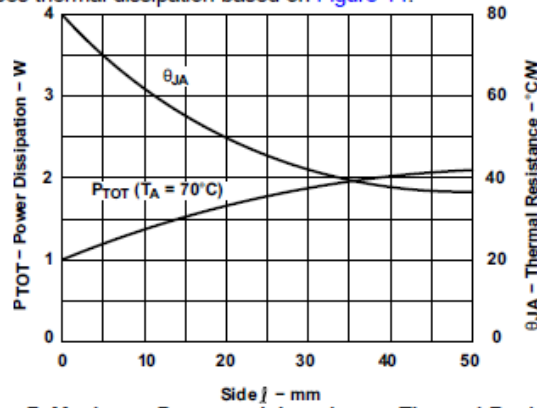


Figure 7. Maximum Power and Junction vs Thermal Resistance

9.3 System Examples

9.3.1 L293D as a Two-Phase Motor Driver

Figure 8 below depicts a typical setup for using the L293D as a two-phase motor driver. Refer to the [Recommended Operating Conditions](#) when considering the appropriate input high and input low voltage levels to enable each channel of the device.

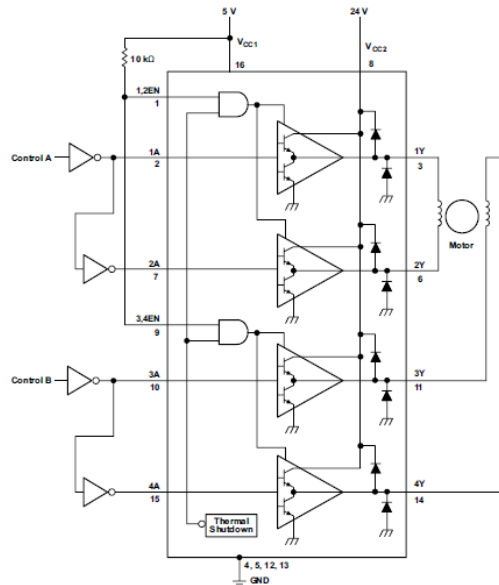
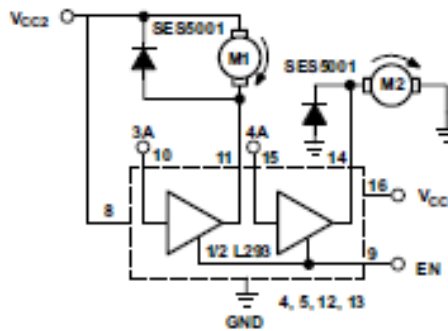


Figure 8. Two-Phase Motor Driver (L293D)

System Examples (continued)

9.3.2 DC Motor Controls

Figure 9 and Figure 10 below depict a typical setup for using the L293 device as a controller for DC motors. Note that the L293 device can be used as a simple driver for a motor to turn on and off in one direction, and can also be used to drive a motor in both directions. Refer to the function tables below to understand unidirectional vs bidirectional motor control. Refer to the *Recommended Operating Conditions* when considering the appropriate input high and input low voltage levels to enable each channel of the device.



Connections to ground and to supply voltage

Figure 9. DC Motor Controls

Table 2. Unidirectional DC Motor Control

EN	3A	M1 ⁽¹⁾	4A	M2
H	H	Fast motor stop	H	Run
H	L	run	L	Fast motor stop
L	X	Free-running motor stop	X	Free-running motor stop

(1) L = low, H = high, X = don't care

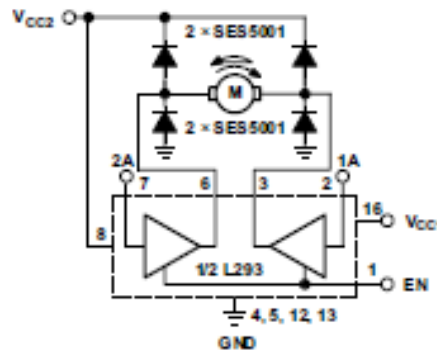


Figure 10. Bidirectional DC Motor Control

Table 3. Bidirectional DC Motor Control

EN	1A	2A	FUNCTION ⁽¹⁾
H	L	H	Turn right
H	H	L	Turn left

(1) L = low, H = high, X = don't care

Table 3. Bidirectional DC Motor Control (continued)

EN	1A	2A	FUNCTION ⁽¹⁾
H	L	L	Fast motor stop
H	H	H	Fast motor stop
L	X	X	Free-running motor stop

9.3.3 Bipolar Stepping-Motor Control

Figure 11 below depicts a typical setup for using the L293D as a two-phase motor driver. Refer to the *Recommended Operating Conditions* when considering the appropriate input high and input low voltage levels to enable each channel of the device.

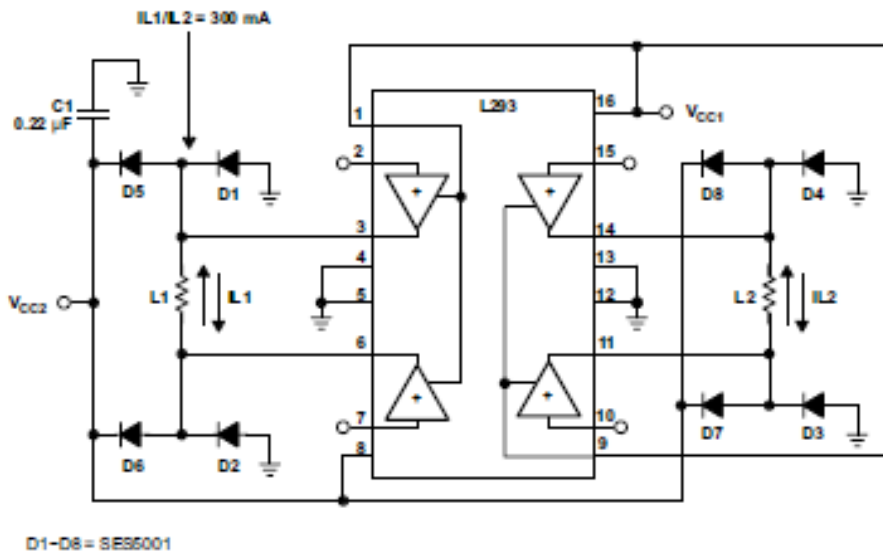


Figure 11. Bipolar Stepping-Motor Control

10 Power Supply Recommendations

V_{CC1} is $5\text{ V} \pm 0.5\text{ V}$ and V_{CC2} can be same supply as V_{CC1} or a higher voltage supply with peak voltage up to 36 V. Bypass capacitors of 0.1 μF or greater should be used at V_{CC1} and V_{CC2} pins. There are no power up or power down supply sequence order requirements.

Properly heatsinking the L293 when driving high-current is critical to design. The $R_{\theta\text{HJ-amp}}$ of the L293 can be reduced by soldering the GND pins to a suitable copper area of the printed circuit board or to an external heat sink.

Figure 14 shows the maximum package power PT_{OT} and the θ_{JA} as a function of the side of two equal square copper areas having a thickness of 35 μm (see Figure 14). In addition, an external heat sink can be used (see Figure 12).

During soldering, the pin temperature must not exceed 260°C, and the soldering time must not exceed 12 seconds.

The external heatsink or printed circuit copper area must be connected to electrical ground.

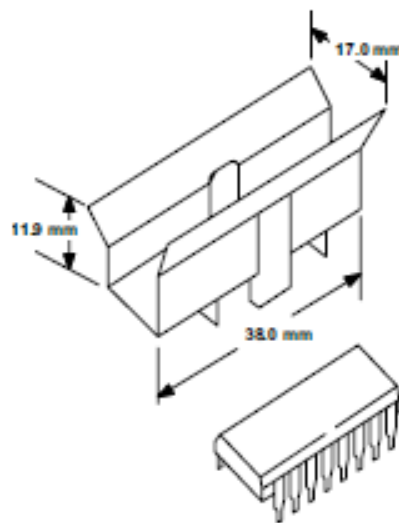


Figure 12. External Heat Sink Mounting Example ($\theta_{\text{JA}} = 25^\circ\text{C/W}$)

11 Layout

11.1 Layout Guidelines

Place the device near the load to keep output traces short to reduce EMI. Use solid vias to transfer heat from ground pins to ground plane of the printed-circuit-board.

11.2 Layout Example

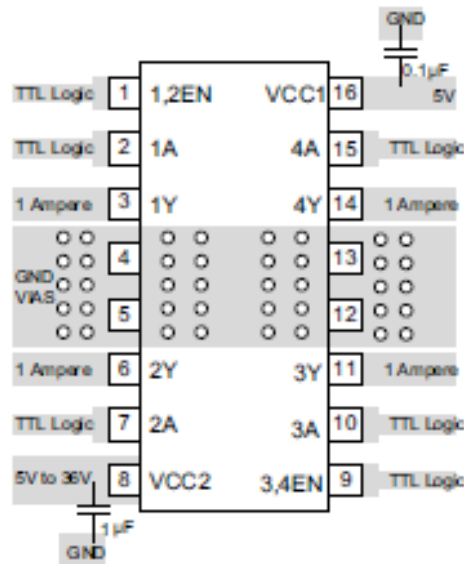


Figure 13. Layout Diagram

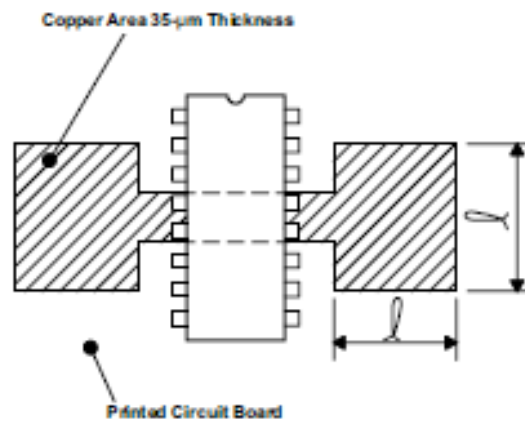


Figure 14. Example of Printed-Circuit-Board Copper Area (Used as Heat Sink)

12 Device and Documentation Support

12.1 Related Links

The table below lists quick access links. Categories include technical documents, support and community resources, tools and software, and quick access to sample or buy.

Table 4. Related Links

PARTS	PRODUCT FOLDER	SAMPLE & BUY	TECHNICAL DOCUMENTS	TOOLS & SOFTWARE	SUPPORT & COMMUNITY
L293	Click here	Click here	Click here	Click here	Click here
L293D	Click here	Click here	Click here	Click here	Click here

12.2 Community Resources

The following links connect to TI community resources. Linked contents are provided "AS IS" by the respective contributors. They do not constitute TI specifications and do not necessarily reflect TI's views; see TI's [Terms of Use](#).

TI E2E™ Online Community *TI's Engineer-to-Engineer (E2E) Community.* Created to foster collaboration among engineers. At e2e.ti.com, you can ask questions, share knowledge, explore ideas and help solve problems with fellow engineers.

Design Support *TI's Design Support* Quickly find helpful E2E forums along with design support tools and contact information for technical support.

12.3 Trademarks

E2E is a trademark of Texas Instruments.
All other trademarks are the property of their respective owners.

12.4 Electrostatic Discharge Caution



These devices have limited built-in ESD protection. The leads should be shorted together or the device placed in conductive foam during storage or handling to prevent electrostatic damage to the MOS gates.

12.5 Glossary

[SLY2022](#) — *TI Glossary.*

This glossary lists and explains terms, acronyms, and definitions.

13 Mechanical, Packaging, and Orderable Information

The following pages include mechanical, packaging, and orderable information. This information is the most current data available for the designated devices. This data is subject to change without notice and revision of this document. For browser-based versions of this data sheet, refer to the left-hand navigation.

Diseño e implementación de un sistema de medida de gases con Arduino



PACKAGE OPTION ADDENDUM

www.ti.com

3-Nov-2015

PACKAGING INFORMATION

Orderable Device	Status (1)	Package Type	Package Drawing	Pins	Package Qty	Eco Plan (2)	Lead/Ball Finish (3)	MSL Peak Temp (3)	Op Temp (°C)	Device Marking (4)	Samples
L293DNE	ACTIVE	PDIP	NE	16	25	Pb-Free (RoHS)	CU NIPDAU	N / A for Pkg Type	0 to 70	L293DNE	Sample
L293DNEE4	ACTIVE	PDIP	NE	16	25	Pb-Free (RoHS)	CU NIPDAU	N / A for Pkg Type	0 to 70	L293DNE	Sample
L293DWP	OBSOLETE	SOIC	DW	28		TBD	Call TI	Call TI	0 to 70	L293DWP	
L293DWP4	OBSOLETE	SOIC	DW	28		TBD	Call TI	Call TI	0 to 70		
L293DWPTR	OBSOLETE	SO PowerPAD	DWP	28		TBD	Call TI	Call TI	0 to 70		
L293N	OBSOLETE	PDIP	N	16		TBD	Call TI	Call TI	0 to 70	L293N	
L293NE	ACTIVE	PDIP	NE	16	25	Pb-Free (RoHS)	CU NIPDAU	N / A for Pkg Type	0 to 70	L293NE	Sample
L293NEE4	ACTIVE	PDIP	NE	16	25	Pb-Free (RoHS)	CU NIPDAU	N / A for Pkg Type	0 to 70	L293NE	Sample
L293NG4	OBSOLETE	PDIP	N	16		TBD	Call TI	Call TI	0 to 70		

(1) The marketing status values are defined as follows:

ACTIVE: Product device recommended for new designs.

LIFEBUY: TI has announced that the device will be discontinued, and a lifetime-buy period is in effect.

NRND: Not recommended for new designs. Device is in production to support existing customers, but TI does not recommend using this part in a new design.

PREVIEW: Device has been announced but is not in production. Samples may or may not be available.

OBSOLETE: TI has discontinued the production of the device.

(2) Eco Plan - The planned eco-friendly classification: Pb-Free (RoHS), Pb-Free (RoHS Exempt), or Green (RoHS & no Sb/Br) - please check <http://www.ti.com/productcontent> for the latest availability information and additional product content details.

TBD: The Pb-Free/Green conversion plan has not been defined.

Pb-Free (RoHS): TI's terms "Lead-Free" or "Pb-Free" mean semiconductor products that are compatible with the current RoHS requirements for all 6 substances, including the requirement that lead not exceed 0.1% by weight in homogeneous materials. Where designed to be soldered at high temperatures, TI Pb-Free products are suitable for use in specified lead-free processes.

Pb-Free (RoHS Exempt): This component has a RoHS exemption for either 1) lead-based flip-chip solder bumps used between the die and package, or 2) lead-based die adhesive used between the die and leadframe. The component is otherwise considered Pb-Free (RoHS compatible) as defined above.

Green (RoHS & no Sb/Br): TI defines "Green" to mean Pb-Free (RoHS compatible), and free of Bromine (Br) and Antimony (Sb) based flame retardants (Br or Sb do not exceed 0.1% by weight in homogeneous material).

(3) MSL, Peak Temp. - The Moisture Sensitivity Level rating according to the JEDEC industry standard classifications, and peak solder temperature.

(4) There may be additional marking, which relates to the logo, the lot trace code information, or the environmental category on the device.

Addendum-Page 1

⁽⁴⁾ Multiple Device Markings will be inside parentheses. Only one Device Marking contained in parentheses and separated by a "~" will appear on a device. If a line is indented then it is a continuation of the previous line and the two combined represent the entire Device Marking for that device.

⁽⁵⁾ Lead/Ball Finish - Orderable Devices may have multiple material finish options. Finish options are separated by a vertical ruled line. Lead/Ball Finish values may wrap to two lines if the finish value exceeds the maximum column width.

Important Information and Disclaimer:The Information provided on this page represents TI's knowledge and belief as of the date that it is provided. TI bases its knowledge and belief on information provided by third parties, and makes no representation or warranty as to the accuracy of such information. Efforts are underway to better integrate information from third parties. TI has taken and continues to take reasonable steps to provide representative and accurate information but may not have conducted destructive testing or chemical analysis on incoming materials and chemicals. TI and TI suppliers consider certain information to be proprietary, and thus CAS numbers and other limited information may not be available for release.

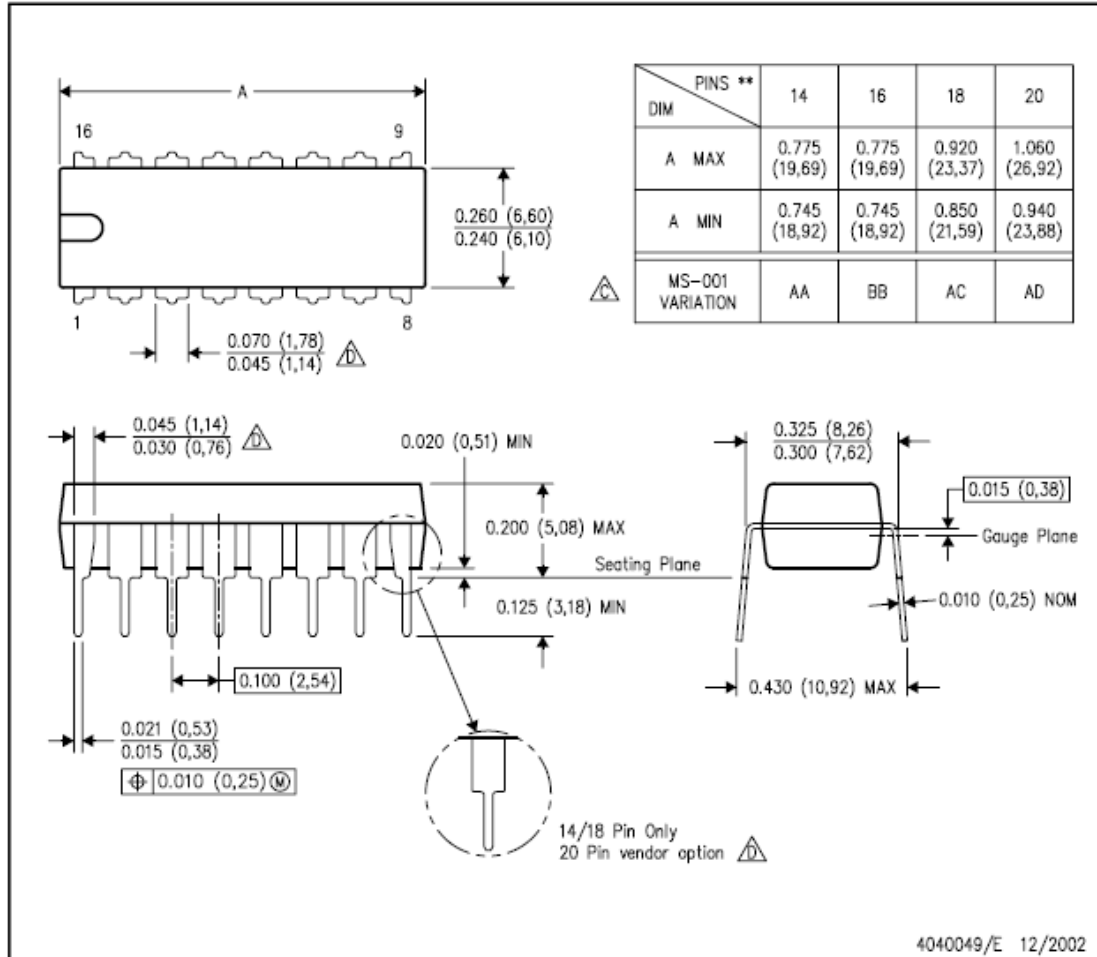
In no event shall TI's liability arising out of such information exceed the total purchase price of the TI part(s) at issue in this document sold by TI to Customer on an annual basis.

MECHANICAL DATA

N (R-PDIP-T**)

PLASTIC DUAL-IN-LINE PACKAGE

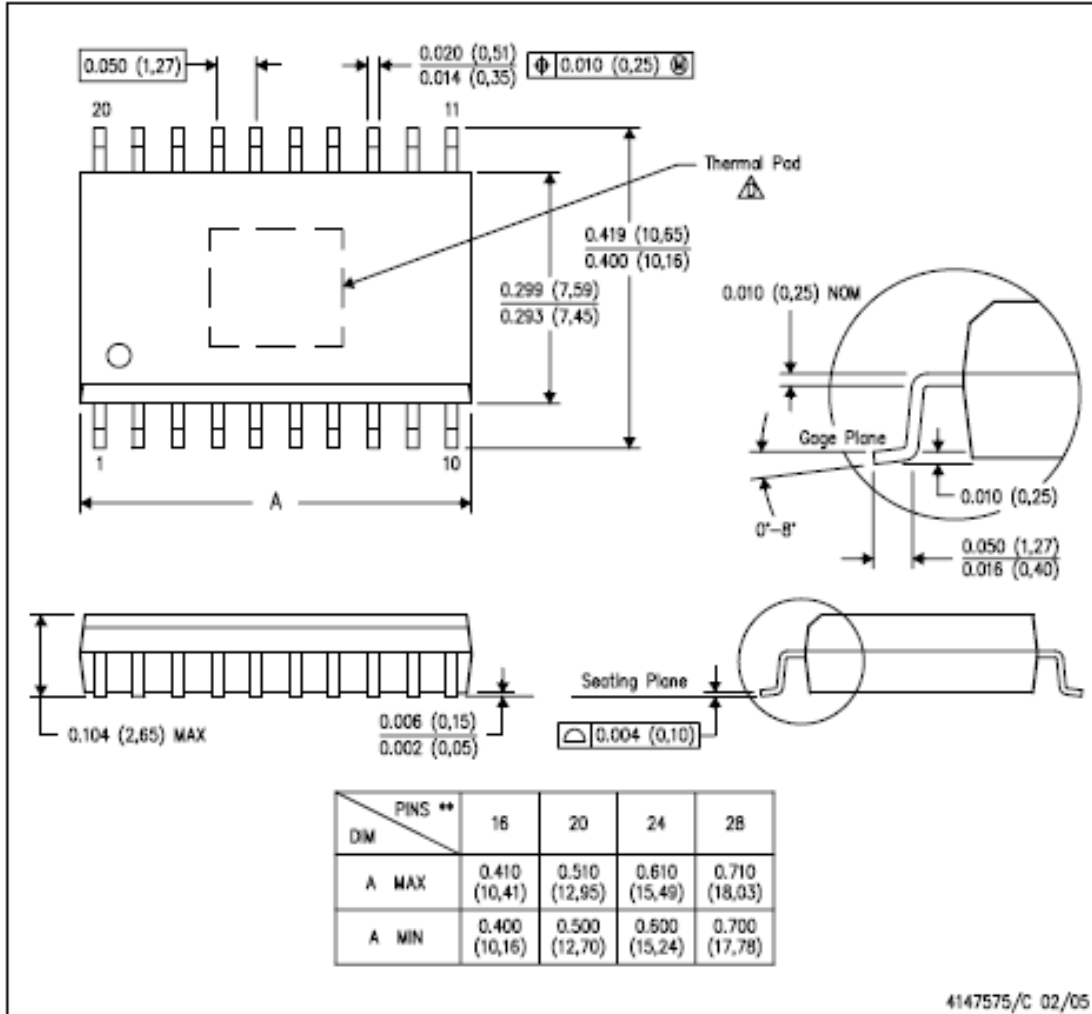
16 PINS SHOWN



- NOTES:
- A. All linear dimensions are in inches (millimeters).
 - B. This drawing is subject to change without notice.
 - Falls within JEDEC MS-001, except 18 and 20 pin minimum body length (Dim A).
 - The 20 pin end lead shoulder width is a vendor option, either half or full width.

MECHANICAL DATA

DWP (R-PDSO-G**) PowerPAD™ PLASTIC SMALL-OUTLINE PACKAGE
20 PINS SHOWN



- NOTES:
- A. All linear dimensions are in inches (millimeters).
 - B. This drawing is subject to change without notice.
 - C. Body dimensions do not include mold flash or protrusion not to exceed 0.006 (0,15).
- This package is designed to be soldered to a thermal pad on the board. Refer to Technical Brief, PowerPad Thermally Enhanced Package, Texas Instruments Literature No. SLMA002 for information regarding recommended board layout. This document is available at www.ti.com <<http://www.ti.com>>. See the product data sheet for details regarding the exposed thermal pad dimensions.

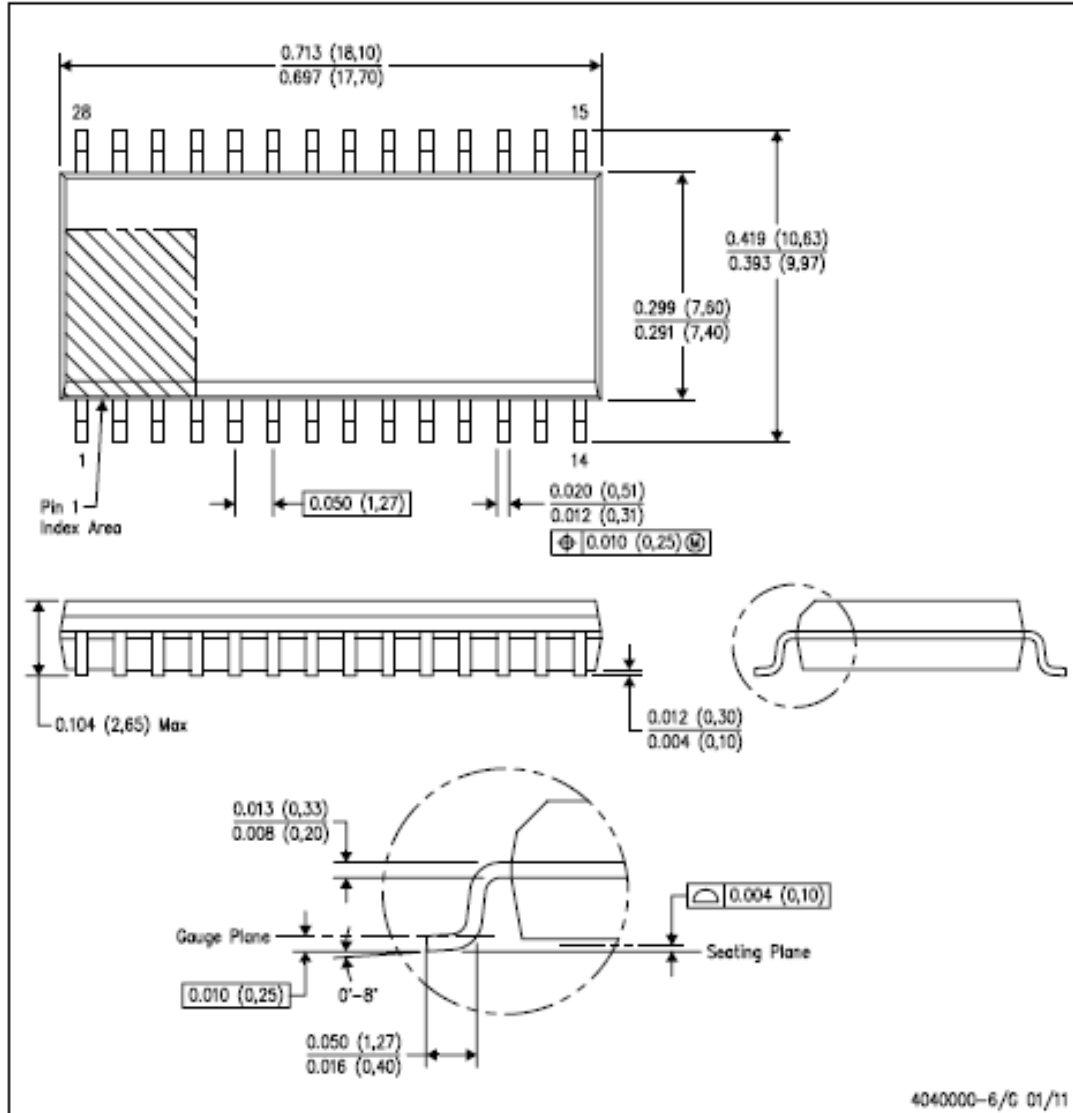
PowerPAD is a trademark of Texas Instruments.



MECHANICAL DATA

DW (R-PDSO-G28)

PLASTIC SMALL OUTLINE



NOTES: A. All linear dimensions are in inches (millimeters). Dimensioning and tolerancing per ASME Y14.5M-1994.
 B. This drawing is subject to change without notice.
 C. Body dimensions do not include mold flash or protrusion not to exceed 0.006 (0,15).
 D. Falls within JEDEC MS-013 variation AE.

NOTES: A. All linear dimensions are in inches (millimeters). Dimensioning and tolerancing per ASME Y14.5M-1994.
 B. This drawing is subject to change without notice.
 C. Body dimensions do not include mold flash or protrusion not to exceed 0.006 (0,15).
 D. Falls within JEDEC MS-013 variation AE.

IMPORTANT NOTICE

Texas Instruments Incorporated and its subsidiaries (TI) reserve the right to make corrections, enhancements, improvements and other changes to its semiconductor products and services per JESD46, latest issue, and to discontinue any product or service per JESD48, latest issue. Buyers should obtain the latest relevant information before placing orders and should verify that such information is current and complete. All semiconductor products (also referred to herein as "components") are sold subject to TI's terms and conditions of sale supplied at the time of order acknowledgment.

TI warrants performance of its components to the specifications applicable at the time of sale, in accordance with the warranty in TI's terms and conditions of sale of semiconductor products. Testing and other quality control techniques are used to the extent TI deems necessary to support this warranty. Except where mandated by applicable law, testing of all parameters of each component is not necessarily performed.

TI assumes no liability for applications assistance or the design of Buyers' products. Buyers are responsible for their products and applications using TI components. To minimize the risks associated with Buyers' products and applications, Buyers should provide adequate design and operating safeguards.

TI does not warrant or represent that any license, either express or implied, is granted under any patent right, copyright, mask work right, or other intellectual property right relating to any combination, machine, or process in which TI components or services are used. Information published by TI regarding third-party products or services does not constitute a license to use such products or services or a warranty or endorsement thereof. Use of such information may require a license from a third party under the patents or other intellectual property of the third party, or a license from TI under the patents or other intellectual property of TI.

Reproduction of significant portions of TI information in TI data books or data sheets is permissible only if reproduction is without alteration and is accompanied by all associated warranties, conditions, limitations, and notices. TI is not responsible or liable for such altered documentation. Information of third parties may be subject to additional restrictions.

Resale of TI components or services with statements different from or beyond the parameters stated by TI for that component or service voids all express and any implied warranties for the associated TI component or service and is an unfair and deceptive business practice. TI is not responsible or liable for any such statements.

Buyer acknowledges and agrees that it is solely responsible for compliance with all legal, regulatory and safety-related requirements concerning its products, and any use of TI components in its applications, notwithstanding any applications-related information or support that may be provided by TI. Buyer represents and agrees that it has all the necessary expertise to create and implement safeguards which anticipate dangerous consequences of failures, monitor failures and their consequences, lessen the likelihood of failures that might cause harm and take appropriate remedial actions. Buyer will fully indemnify TI and its representatives against any damages arising out of the use of any TI components in safety-critical applications.

In some cases, TI components may be promoted specifically to facilitate safety-related applications. With such components, TI's goal is to help enable customers to design and create their own end-product solutions that meet applicable functional safety standards and requirements. Nonetheless, such components are subject to these terms.

No TI components are authorized for use in FDA Class III (or similar life-critical medical equipment) unless authorized officers of the parties have executed a special agreement specifically governing such use.

Only those TI components which TI has specifically designated as military grade or "enhanced plastic" are designed and intended for use in military/aerospace applications or environments. Buyer acknowledges and agrees that any military or aerospace use of TI components which have not been so designated is solely at the Buyer's risk, and that Buyer is solely responsible for compliance with all legal and regulatory requirements in connection with such use.

TI has specifically designated certain components as meeting ISO/TS16949 requirements, mainly for automotive use. In any case of use of non-designated products, TI will not be responsible for any failure to meet ISO/TS16949.

Products

Audio	www.ti.com/audio
Amplifiers	amplifier.ti.com
Data Converters	dataconverter.ti.com
DLP® Products	www.dlp.com
DSP	dsp.ti.com
Clocks and Timers	www.ti.com/clocks
Interface	interface.ti.com
Logic	logic.ti.com
Power Mgmt	power.ti.com
Microcontrollers	microcontroller.ti.com
RFID	www.ti-rfid.com
OMAP Applications Processors	www.ti.com/omap
Wireless Connectivity	www.ti.com/wirelessconnectivity

Applications

Automotive and Transportation	www.ti.com/automotive
Communications and Telecom	www.ti.com/communications
Computers and Peripherals	www.ti.com/computers
Consumer Electronics	www.ti.com/consumer-apps
Energy and Lighting	www.ti.com/energy
Industrial	www.ti.com/Industrial
Medical	www.ti.com/medical
Security	www.ti.com/security
Space, Avionics and Defense	www.ti.com/space-avionics-defense
Video and Imaging	www.ti.com/video
TI E2E Community	e2e.ti.com

Mailing Address: Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265
Copyright © 2016, Texas Instruments Incorporated

A 7.7 Diodo Zener 2.7 V BZX55C

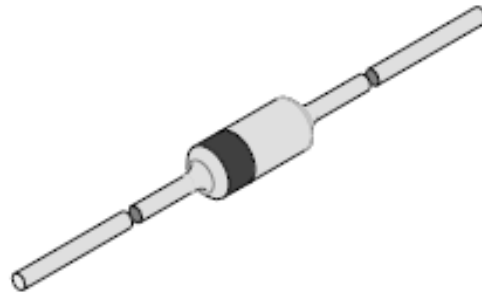


BZX55C...
Vishay Telefunken

Silicon Epitaxial Planar Z-Diodes

Features

- Very sharp reverse characteristic
- Low reverse current level
- Very high stability
- Low noise
- Available with tighter tolerances



94 9367

Applications

Voltage stabilization

Absolute Maximum Ratings

$T_J = 25^\circ\text{C}$

Parameter	Test Conditions	Type	Symbol	Value	Unit
Power dissipation	$l=4\text{mm}, T_J=25^\circ\text{C}$		P_V	500	mW
Z-current			I_Z	P_V/V_Z	mA
Junction temperature			T_J	175	$^\circ\text{C}$
Storage temperature range			T_{stg}	-65...+175	$^\circ\text{C}$

Maximum Thermal Resistance

$T_J = 25^\circ\text{C}$

Parameter	Test Conditions	Symbol	Value	Unit
Junction ambient	$l=4\text{mm}, T_L=\text{constant}$	R_{thJA}	300	K/W

Electrical Characteristics

$T_J = 25^\circ\text{C}$

Parameter	Test Conditions	Type	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
Forward voltage	$I_F=200\text{mA}$		V_F			1.5	V

BZX55C...

Vishay Telefunken



Type	V _{Znom}	I _{ZT}	for V _{ZT} and	r _{ZT}	r _{ZK} at I _{ZK}	I _R and I _R at V _R	TK _{VZ}			
BZX55C...	V	mA	V ¹⁾	Ω	Ω	mA	μA	μA ²⁾	V	%/K
2V4	2.4	5	2.28 to 2.56	< 85	< 800	1	< 50	< 100	1	-0.09 to -0.06
2V7	2.7	5	2.5 to 2.9	< 85	< 800	1	< 10	< 50	1	-0.09 to -0.06
3V0	3.0	5	2.8 to 3.2	< 85	< 800	1	< 4	< 40	1	-0.08 to -0.05
3V3	3.3	5	3.1 to 3.5	< 85	< 800	1	< 2	< 40	1	-0.08 to -0.05
3V6	3.6	5	3.4 to 3.8	< 85	< 800	1	< 2	< 40	1	-0.08 to -0.05
3V9	3.9	5	3.7 to 4.1	< 85	< 800	1	< 2	< 40	1	-0.08 to -0.05
4V3	4.3	5	4.0 to 4.6	< 75	< 800	1	< 1	< 20	1	-0.06 to -0.03
4V7	4.7	5	4.4 to 5.0	< 60	< 800	1	< 0.5	< 10	1	-0.05 to +0.02
5V1	5.1	5	4.8 to 5.4	< 35	< 550	1	< 0.1	< 2	1	-0.02 to +0.02
5V6	5.6	5	5.2 to 6.0	< 25	< 450	1	< 0.1	< 2	1	-0.05 to +0.05
6V2	6.2	5	5.8 to 6.6	< 10	< 200	1	< 0.1	< 2	2	0.03 to 0.06
6V8	6.8	5	6.4 to 7.2	< 8	< 150	1	< 0.1	< 2	3	0.03 to 0.07
7V5	7.5	5	7.0 to 7.9	< 7	< 50	1	< 0.1	< 2	5	0.03 to 0.07
8V2	8.2	5	7.7 to 8.7	< 7	< 50	1	< 0.1	< 2	6.2	0.03 to 0.08
9V1	9.1	5	8.5 to 9.6	< 10	< 50	1	< 0.1	< 2	6.8	0.03 to 0.09
10	10	5	9.4 to 10.6	< 15	< 70	1	< 0.1	< 2	7.5	0.03 to 0.1
11	11	5	10.4 to 11.6	< 20	< 70	1	< 0.1	< 2	8.2	0.03 to 0.11
12	12	5	11.4 to 12.7	< 20	< 90	1	< 0.1	< 2	9.1	0.03 to 0.11
13	13	5	12.4 to 14.1	< 28	< 110	1	< 0.1	< 2	10	0.03 to 0.11
15	15	5	13.8 to 15.6	< 30	< 110	1	< 0.1	< 2	11	0.03 to 0.11
16	16	5	15.3 to 17.1	< 40	< 170	1	< 0.1	< 2	12	0.03 to 0.11
18	18	5	16.8 to 19.1	< 50	< 170	1	< 0.1	< 2	13	0.03 to 0.11
20	20	5	18.8 to 21.2	< 55	< 220	1	< 0.1	< 2	15	0.03 to 0.11
22	22	5	20.8 to 23.3	< 55	< 220	1	< 0.1	< 2	16	0.04 to 0.12
24	24	5	22.8 to 25.6	< 80	< 220	1	< 0.1	< 2	18	0.04 to 0.12
27	27	5	25.1 to 28.9	< 80	< 220	1	< 0.1	< 2	20	0.04 to 0.12
30	30	5	28 to 32	< 80	< 220	1	< 0.1	< 2	22	0.04 to 0.12
33	33	5	31 to 35	< 80	< 220	1	< 0.1	< 2	24	0.04 to 0.12
36	36	5	34 to 38	< 80	< 220	1	< 0.1	< 2	27	0.04 to 0.12
39	39	2.5	37 to 41	< 90	< 500	0.5	< 0.1	< 5	30	0.04 to 0.12
43	43	2.5	40 to 46	< 90	< 800	0.5	< 0.1	< 5	33	0.04 to 0.12
47	47	2.5	44 to 50	< 110	< 700	0.5	< 0.1	< 5	36	0.04 to 0.12
51	51	2.5	48 to 54	< 125	< 700	0.5	< 0.1	< 10	39	0.04 to 0.12
56	56	2.5	52 to 60	< 135	< 1000	0.5	< 0.1	< 10	43	0.04 to 0.12
62	62	2.5	58 to 66	< 150	< 1000	0.5	< 0.1	< 10	47	0.04 to 0.12
68	68	2.5	64 to 72	< 200	< 1000	0.5	< 0.1	< 10	51	0.04 to 0.12
75	75	2.5	70 to 79	< 250	< 1500	0.5	< 0.1	< 10	56	0.04 to 0.12

1) Tighter tolerances available on request:

BZX55A... ± 1% of V_{Znom}

BZX55B... ± 2% of V_{Znom}

BZX55F... ± 3% of V_{Znom}

2) at T_J = 150 °C



BZX55C...
Vishay Telefunken

Characteristics ($T_j = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise specified)

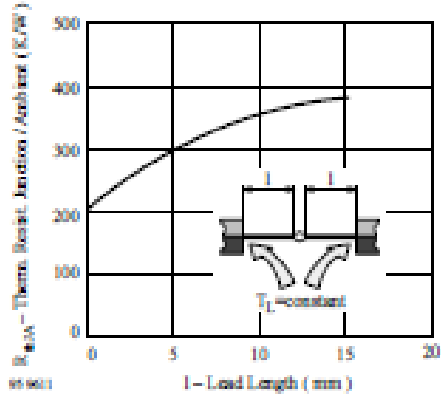


Figure 1. Thermal Resistance vs. Lead Length

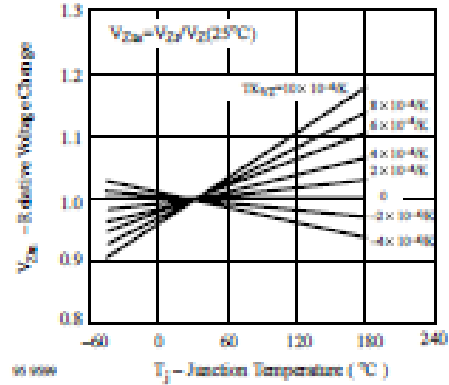


Figure 4. Typical Change of Working Voltage vs. Junction Temperature

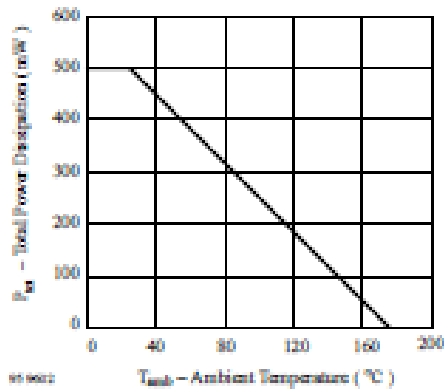


Figure 2. Total Power Dissipation vs. Ambient Temperature

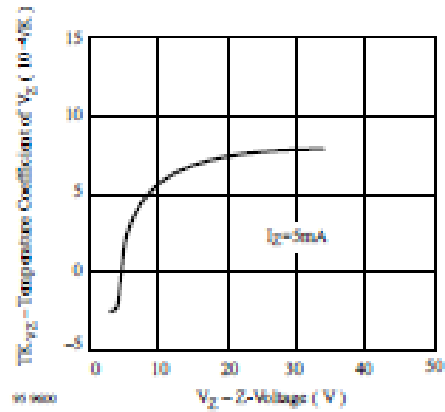


Figure 5. Temperature Coefficient of V_Z vs. Z-Voltage

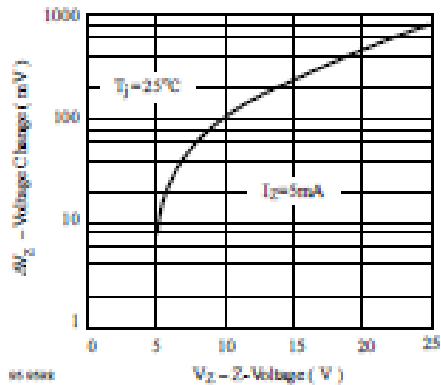


Figure 3. Typical Change of Working Voltage under Operating Conditions at $T_{amb} = 25^\circ\text{C}$

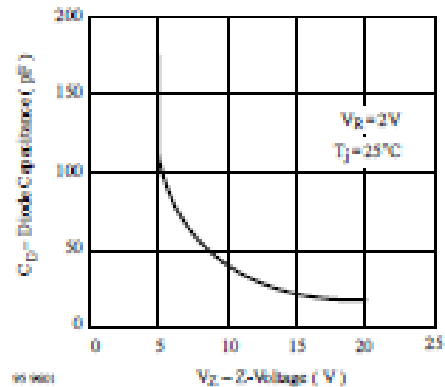
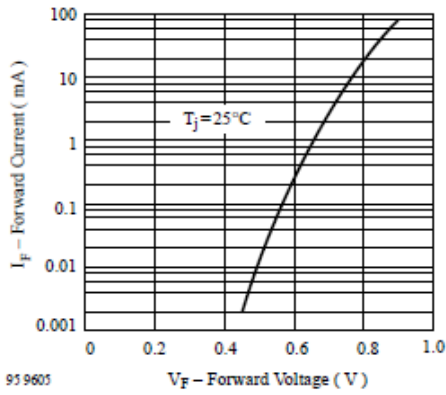


Figure 6. Diode Capacitance vs. Z-Voltage

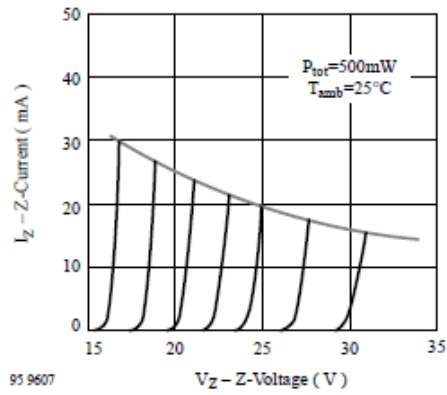
BZX55C...

Vishay Telefunken



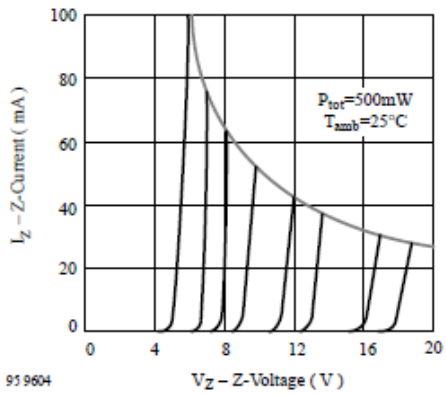
95 9605

Figure 7. Forward Current vs. Forward Voltage



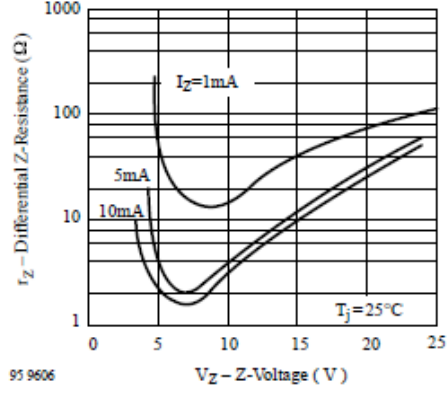
95 9607

Figure 9. Z-Current vs. Z-Voltage



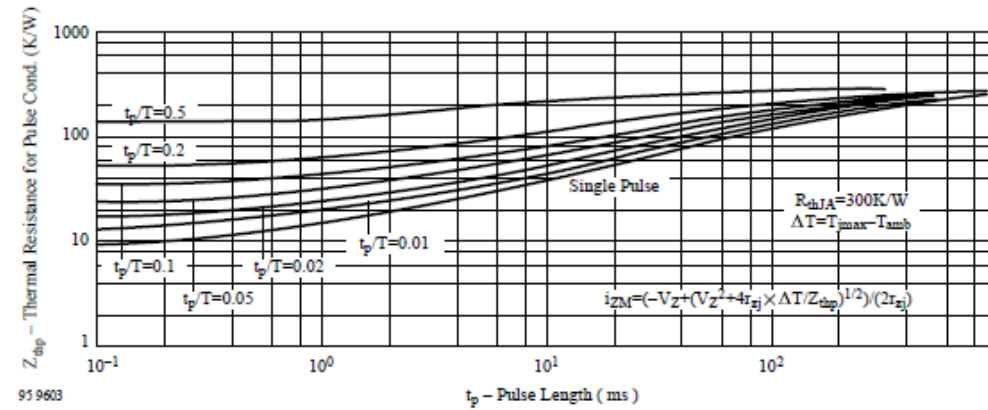
95 9604

Figure 8. Z-Current vs. Z-Voltage



95 9606

Figure 10. Differential Z-Resistance vs. Z-Voltage



95 9603

Figure 11. Thermal Response

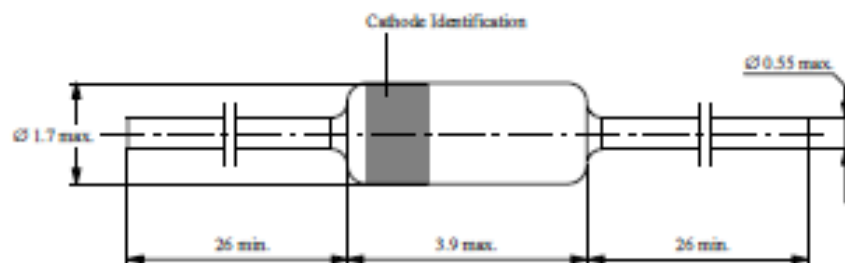


BZX55C...
Vishay Telefunken

Dimensions in mm



Standard Glass Case
54 A 2 DIN 41880
JEDEC DO 35
Weight max. 0.3 g





Ozone Depleting Substances Policy Statement

It is the policy of Vishay Semiconductor GmbH to

1. Meet all present and future national and international statutory requirements.
2. Regularly and continuously improve the performance of our products, processes, distribution and operating systems with respect to their impact on the health and safety of our employees and the public, as well as their impact on the environment.

It is particular concern to control or eliminate releases of those substances into the atmosphere which are known as ozone depleting substances (ODS).

The Montreal Protocol (1987) and its London Amendments (1990) intend to severely restrict the use of ODS and forbid their use within the next ten years. Various national and international initiatives are pressing for an earlier ban on these substances.

Vishay Semiconductor GmbH has been able to use its policy of continuous improvements to eliminate the use of ODS listed in the following documents.


1. Annex A, B and list of transitional substances of the Montreal Protocol and the London Amendments respectively
2. Class I and II ozone depleting substances in the Clean Air Act Amendments of 1990 by the Environmental Protection Agency (EPA) in the USA
3. Council Decision 88/540/EEC and 91/690/EEC Annex A, B and C (transitional substances) respectively.

Vishay Semiconductor GmbH can certify that our semiconductors are not manufactured with ozone depleting substances and do not contain such substances.


We reserve the right to make changes to improve technical design and may do so without further notice.
Parameters can vary in different applications. All operating parameters must be validated for each customer application by the customer. Should the buyer use Vishay-Telefunken products for any unintended or unauthorized application, the buyer shall indemnify Vishay-Telefunken against all claims, costs, damages, and expenses, arising out of, directly or indirectly, any claim of personal damage, injury or death associated with such unintended or unauthorized use.

Vishay Semiconductor GmbH, P.O.B. 3535, D-74025 Heilbronn, Germany
Telephone: 49 (0)7131 67 2831, Fax number: 49 (0)7131 67 2423

A 7.8 Transistor NPN BC547




November 2014



BC546 / BC547 / BC548 / BC549 / BC550 NPN Epitaxial Silicon Transistor

Features

- Switching and Amplifier
- High-Voltage: BC546, $V_{CE0} = 65\text{ V}$
- Low-Noise: BC549, BC550
- Complement to BC556, BC557, BC558, BC559, and BC560



TO-92
1. Collector 2. Base 3. Emitter

Ordering Information

Part Number	Marking	Package	Packing Method
BC546ABU	BC546A	TO-92 3L	Bulk
BC546ATA	BC546A	TO-92 3L	Ammo
BC546BTA	BC546B	TO-92 3L	Ammo
BC546BTF	BC546B	TO-92 3L	Tape and Reel
BC546CTA	BC546C	TO-92 3L	Ammo
BC547ATA	BC547A	TO-92 3L	Ammo
BC547B	BC547B	TO-92 3L	Bulk
BC547BBU	BC547B	TO-92 3L	Bulk
BC547BTA	BC547B	TO-92 3L	Ammo
BC547BTF	BC547B	TO-92 3L	Tape and Reel
BC547CBU	BC547C	TO-92 3L	Bulk
BC547CTA	BC547C	TO-92 3L	Ammo
BC547CTFR	BC547C	TO-92 3L	Tape and Reel
BC548BU	BC548	TO-92 3L	Bulk
BC548BTA	BC548B	TO-92 3L	Ammo
BC548CTA	BC548C	TO-92 3L	Ammo
BC549BTA	BC549B	TO-92 3L	Ammo
BC549BTF	BC549B	TO-92 3L	Tape and Reel
BC549CTA	BC549C	TO-92 3L	Ammo
BC550CBU	BC550C	TO-92 3L	Bulk
BC550CTA	BC550C	TO-92 3L	Ammo

© 2002 Fairchild Semiconductor Corporation
BC546 / BC547 / BC548 / BC549 / BC550 Rev. 1.1.1

1

www.fairchildsemi.com

BC546 / BC547 / BC548 / BC549 / BC550 — NPN Epitaxial Silicon Transistor

Absolute Maximum Ratings

Stresses exceeding the absolute maximum ratings may damage the device. The device may not function or be operable above the recommended operating conditions and stressing the parts to these levels is not recommended. In addition, extended exposure to stresses above the recommended operating conditions may affect device reliability. The absolute maximum ratings are stress ratings only. Values are at $T_A = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted.

Symbol	Parameter	Value	Unit	
V_{CBO}	Collector-Base Voltage	BC546	80	V
		BC547 / BC550	50	
		BC548 / BC549	30	
V_{CEO}	Collector-Emitter Voltage	BC546	65	V
		BC547 / BC550	45	
		BC548 / BC549	30	
V_{EBO}	Emitter-Base Voltage	BC546 / BC547	6	V
		BC548 / BC549 / BC550	5	
I_C	Collector Current (DC)	100	mA	
P_C	Collector Power Dissipation	500	mW	
T_J	Junction Temperature	150	$^\circ\text{C}$	
T_{STG}	Storage Temperature Range	-65 to +150	$^\circ\text{C}$	

Electrical Characteristics

Values are at $T_A = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted.

Symbol	Parameter	Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
I_{CBO}	Collector Cut-Off Current	$V_{CE} = 30\text{ V}, I_E = 0$			15	nA
h_{FE}	DC Current Gain	$V_{CE} = 5\text{ V}, I_C = 2\text{ mA}$	110		800	
$V_{CE(sat)}$	Collector-Emitter Saturation Voltage	$I_C = 10\text{ mA}, I_B = 0.5\text{ mA}$		90	250	mV
		$I_C = 100\text{ mA}, I_B = 5\text{ mA}$		250	600	
$V_{BE(sat)}$	Base-Emitter Saturation Voltage	$I_C = 10\text{ mA}, I_B = 0.5\text{ mA}$		700		mV
		$I_C = 100\text{ mA}, I_B = 5\text{ mA}$		900		
$V_{BE(on)}$	Base-Emitter On Voltage	$V_{CE} = 5\text{ V}, I_C = 2\text{ mA}$	580	660	700	mV
		$V_{CE} = 5\text{ V}, I_C = 10\text{ mA}$			720	
f_T	Current Gain Bandwidth Product	$V_{CE} = 5\text{ V}, I_C = 10\text{ mA}, f = 100\text{ MHz}$		300		MHz
C_{ob}	Output Capacitance	$V_{CE} = 10\text{ V}, I_E = 0, f = 1\text{ MHz}$		3.5	6.0	pF
C_{ib}	Input Capacitance	$V_{BE} = 0.5\text{ V}, I_C = 0, f = 1\text{ MHz}$		9		pF
NF	Noise Figure	BC546 / BC547 / BC548	$V_{CE} = 5\text{ V}, I_C = 200\text{ }\mu\text{A}, f = 1\text{ kHz}, R_G = 2\text{ k}\Omega$	2.0	10.0	dB
		BC549 / BC550		1.2	4.0	
		BC549	$V_{CE} = 5\text{ V}, I_C = 200\text{ }\mu\text{A}, R_G = 2\text{ k}\Omega, f = 30\text{ to }15000\text{ MHz}$	1.4	4.0	
		BC550		1.4	3.0	

h_{FE} Classification

Classification	A	B	C
h_{FE}	110 ~ 220	200 ~ 450	420 ~ 800

Typical Performance Characteristics

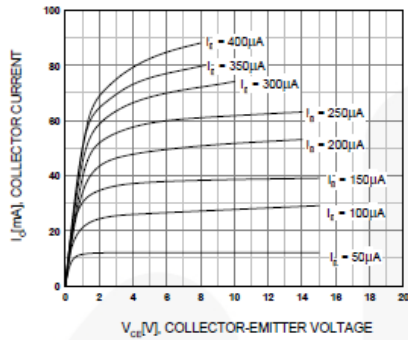


Figure 1. Static Characteristic

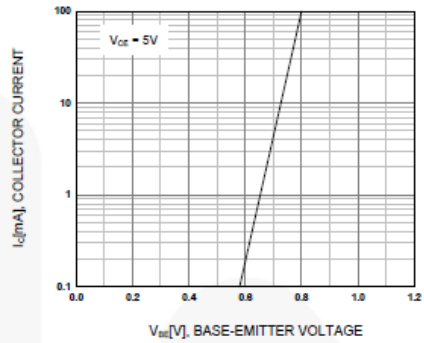


Figure 2. Transfer Characteristic

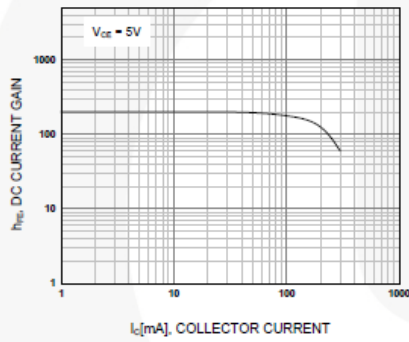


Figure 3. DC Current Gain

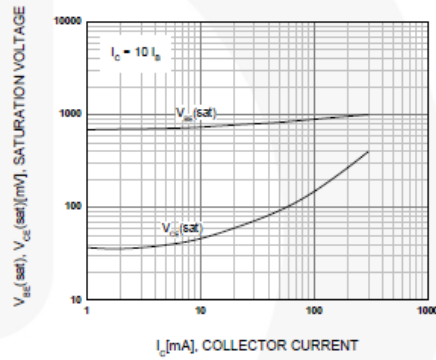


Figure 4. Base-Emitter Saturation Voltage and Collector-Emitter Saturation Voltage

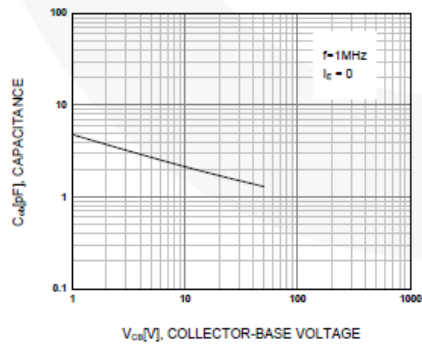


Figure 5. Output Capacitance

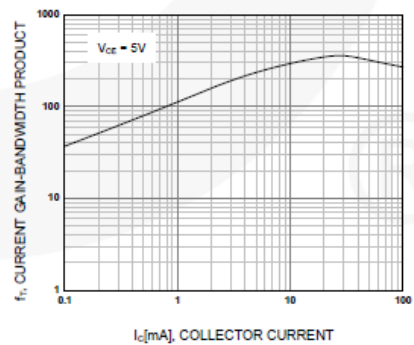
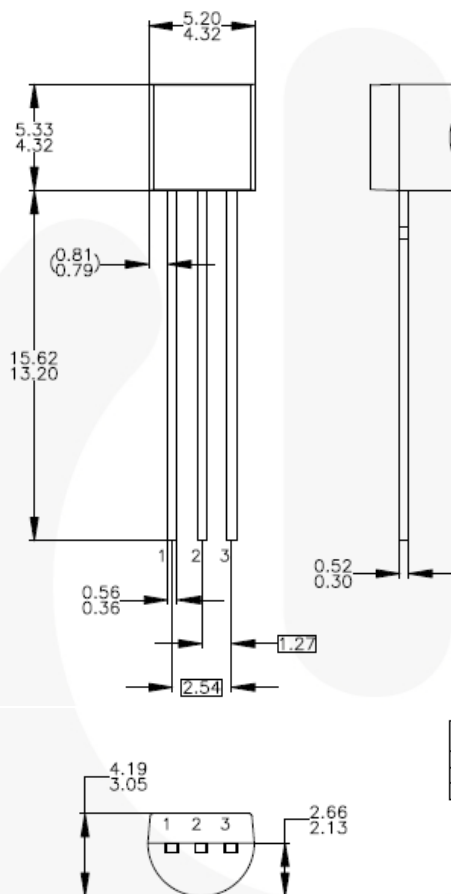


Figure 6. Current Gain Bandwidth Product

Physical Dimensions



NOTES: UNLESS OTHERWISE SPECIFIED
 A) DRAWING WITH REFERENCE TO JEDEC TO-92 RECOMMENDATIONS.
 B) ALL DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS.
 C) DRAWING CONFORMS TO ASME Y14.5M-1994.
 D) TO-92 (92,94,96,97,98) PIN CONFIGURATION:

Pin	92	94	96	97	98
1	E	S	E	S	B
2	B	D	C	G	D
3	C	G	D	B	C

LEGEND:
 P - BIPOLAR E - EMITTER D - DRAIN
 F - JFET B - BASE S - SOURCE
 M - DMOS C - COLLECTOR G - GATE

E) FOR PACKAGE 92, 94, 96, 97 AND 98: PIN CONFIGURATION DRAIN "D" AND SOURCE "S" ARE INTERCHANGEABLE AT JFET "F" OPTION.
 F) DRAWING FILENAME: MKT-2403DREV3.

Figure 7. 3-Lead, TO-92, JEDEC TO-92 Compliant Straight Lead Configuration, Bulk Type

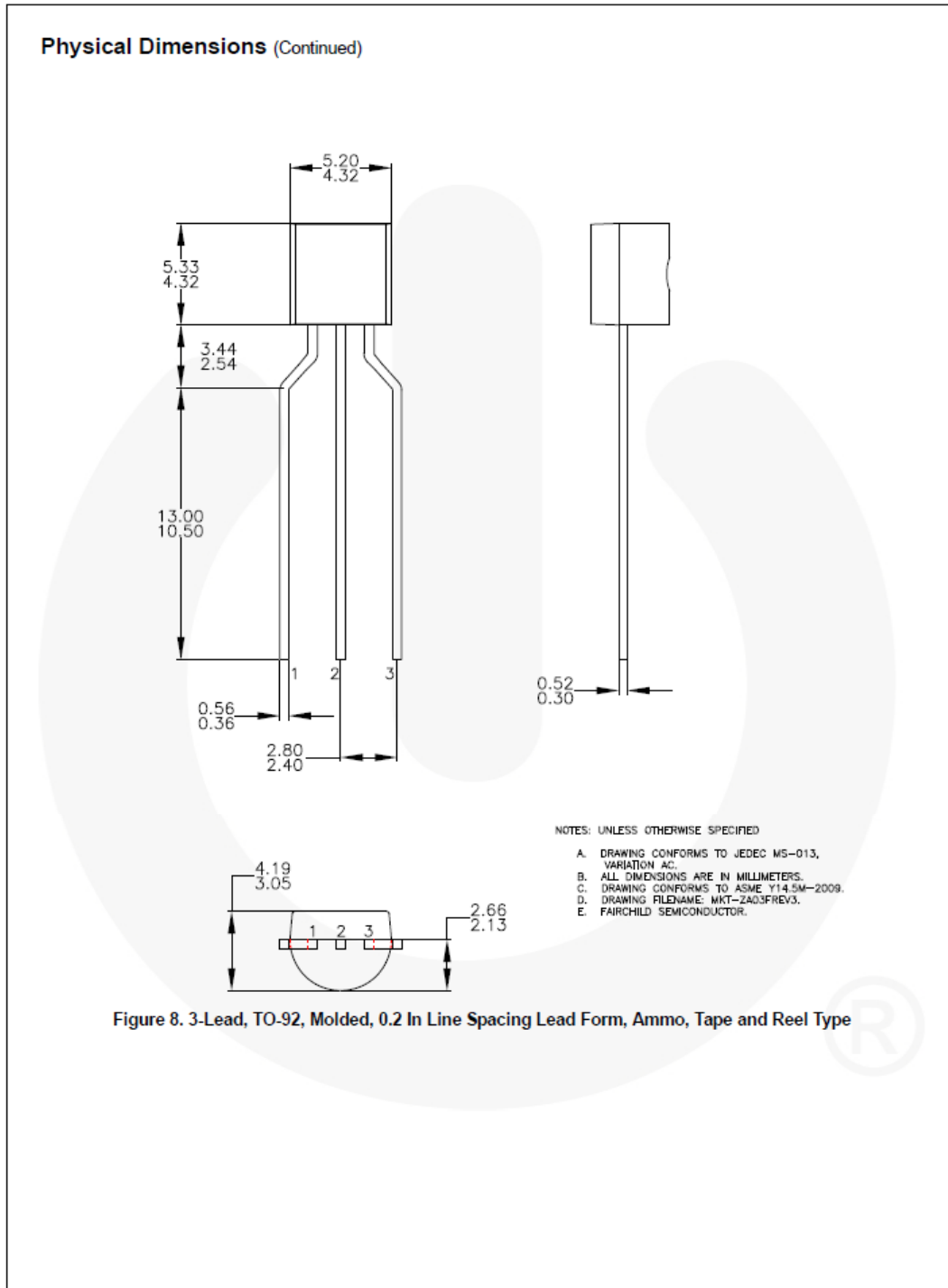




Figure 8. 3-Lead, TO-92, Molded, 0.2 In Line Spacing Lead Form, Ammo, Tape and Reel Type



TRADEMARKS

The following includes registered and unregistered trademarks and service marks, owned by Fairchild Semiconductor and/or its global subsidiaries, and is not intended to be an exhaustive list of all such trademarks.

- | | | | |
|--|--|---|---|
| AcuPower™ | F-PFS™ | OPTOPLANAR® | SYSTEM GENERAL™ |
| Awinds® | FRFET® |  ® | TinyBoos [®] |
| AX-CAP® | Global Power Resources™ | PowerTrench® | TinyBuck® |
| BitSiC™ | GreenBridge™ | PowerXS™ | TinyCalc™ |
| Build it Now™ | Green FPS™ | Programmable Active Droop™ | TinyLogic® |
| CorePLUS™ | Green FPS™ e-Series™ | QFET® | TINYOPTO™ |
| CorePOWER™ | Gmax™ | QS™ | TinyPower™ |
| CROSSVOLT™ | GTO™ | Quiet Series™ | TinyPWM™ |
| CTL™ | IntelliMAX™ | RapidConfigure™ | TinyWire™ |
| Current Transfer Logic™ | ISOPLANAR™ |  ™ | TransiC™ |
| DEUXPEED® | Making Small Speakers Sound Louder and Better™ | Saving our world, 1mW/W/kW at a time™ | TriFault Detected™ |
| Dual Cool™ | MegaBuck™ | SignalWise™ | TRUECURRENT® |
| EcoSPARK® | MICROCOUPLER™ | SmartMax™ | µSerDes™ |
| EfficientMax™ | MicroFET™ | SMART START™ |  SerDes™ |
| ESBC™ | MicroPak™ | Solutions for Your Success™ | UHC™ |
|  Fairchild® | MicroPak2™ | SPM® | Ultra FRFET™ |
| Fairchild Semiconductor® | MillerDrive™ | STEALTH™ | UniFET™ |
| FACT Quiet Series™ | MotionMax™ | SuperFET™ | VCX™ |
| FACT™ | MotionGrid® | SuperSOT™-3 | VisualMax™ |
| FAST® | MTI® | SuperSOT™-6 | VoltagePlus™ |
| FastvCore™ | MTx® | SuperSOT™-8 | XS™ |
| FETBench™ | MVN® | SupreMOS® | Xsens™ |
| FPS™ | mW Saver® | SyncFET™ | 仙童™ |
| | OptoHiT™ | Sync-Lock™ | |
| | OPTOLOGIC® | | |

* Trademarks of System General Corporation, used under license by Fairchild Semiconductor.

DISCLAIMER

FAIRCHILD SEMICONDUCTOR RESERVES THE RIGHT TO MAKE CHANGES WITHOUT FURTHER NOTICE TO ANY PRODUCTS HEREIN TO IMPROVE RELIABILITY, FUNCTION, OR DESIGN. TO OBTAIN THE LATEST, MOST UP-TO-DATE DATASHEET AND PRODUCT INFORMATION, VISIT OUR WEBSITE AT [HTTP://WWW.FAIRCHILDSEMI.COM](http://www.fairchildsemi.com). FAIRCHILD DOES NOT ASSUME ANY LIABILITY ARISING OUT OF THE APPLICATION OR USE OF ANY PRODUCT OR CIRCUIT DESCRIBED HEREIN; NEITHER DOES IT CONVEY ANY LICENSE UNDER ITS PATENT RIGHTS, NOR THE RIGHTS OF OTHERS. THESE SPECIFICATIONS DO NOT EXPAND THE TERMS OF FAIRCHILD'S WORLDWIDE TERMS AND CONDITIONS, SPECIFICALLY THE WARRANTY THEREIN, WHICH COVERS THESE PRODUCTS.

LIFE SUPPORT POLICY

FAIRCHILD'S PRODUCTS ARE NOT AUTHORIZED FOR USE AS CRITICAL COMPONENTS IN LIFE SUPPORT DEVICES OR SYSTEMS WITHOUT THE EXPRESS WRITTEN APPROVAL OF FAIRCHILD SEMICONDUCTOR CORPORATION.

As used herein:

1. Life support devices or systems are devices or systems which, (a) are intended for surgical implant into the body or (b) support or sustain life, and (c) whose failure to perform when properly used in accordance with instructions for use provided in the labeling, can be reasonably expected to result in a significant injury of the user.
2. A critical component in any component of a life support, device, or system whose failure to perform can be reasonably expected to cause the failure of the life support device or system, or to affect its safety or effectiveness.

ANTI-COUNTERFEITING POLICY

Fairchild Semiconductor Corporation's Anti-Counterfeiting Policy. Fairchild's Anti-Counterfeiting Policy is also stated on our external website, www.fairchildsemi.com, under Sales Support.

Counterfeiting of semiconductor parts is a growing problem in the industry. All manufacturers of semiconductor products are experiencing counterfeiting of their parts. Customers who inadvertently purchase counterfeit parts experience many problems such as loss of brand reputation, substandard performance, failed applications, and increased cost of production and manufacturing delays. Fairchild is taking strong measures to protect ourselves and our customers from the proliferation of counterfeit parts. Fairchild strongly encourages customers to purchase Fairchild parts either directly from Fairchild or from Authorized Fairchild Distributors who are listed by country on our web page cited above. Products customers buy either from Fairchild directly or from Authorized Fairchild Distributors are genuine parts, have full traceability, meet Fairchild's quality standards for handling and storage and provide access to Fairchild's full range of up-to-date technical and product information. Fairchild and our Authorized Distributors will stand behind all warranties and will appropriately address any warranty issues that may arise. Fairchild will not provide any warranty coverage or other assistance for parts bought from Unauthorized Sources. Fairchild is committed to combat this global problem and encourage our customers to do their part in stopping this practice by buying direct or from authorized distributors.

PRODUCT STATUS DEFINITIONS

Definition of Terms

Datasheet Identification	Product Status	Definition
Advance Information	Formative / In Design	Datasheet contains the design specifications for product development. Specifications may change in any manner without notice.
Preliminary	First Production	Datasheet contains preliminary data; supplementary data will be published at a later date. Fairchild Semiconductor reserves the right to make changes at any time without notice to improve design.
No Identification Needed	Full Production	Datasheet contains final specifications. Fairchild Semiconductor reserves the right to make changes at any time without notice to improve the design.
Obsolete	Not In Production	Datasheet contains specifications on a product that is discontinued by Fairchild Semiconductor. The datasheet is for reference information only.

Rev. 172

A 7.9 Relé AXICOM IM43N 5V

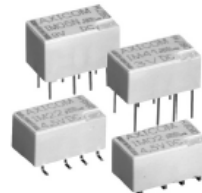


Signal Relays

AXICOM

IM Relay

- Slim line 10x6mm, low profile 5.65mm and min. board-space 60mm²
- Switching current 2/5A, switching power 60W/62.5VA and switching voltage 220VDC/250VAC
- Low coil power consumption, 140mW standard, 100mW for high sensitive version, 50mW for ultra high sensitive version and 100mW for bistable version
- High dielectric and surge capability up to 2500Vrms between open contacts and 2500Vrms between coil and contacts
- High mechanical shock resistance up to 50g functional



Typical applications

Telecommunication, access and transmission equipment, optical network terminals, modems, office and business equipment, consumer electronics, measurement and test equipment, industrial control, medical equipment, HVAC

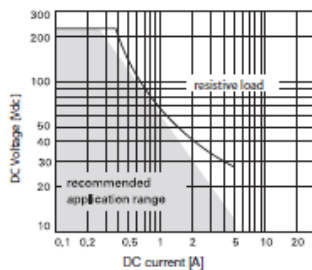
Approvals

UL 508 File No. E 111441

Technical data of approved types on request

Contact Data	standard, C	D, I	P
	standard and high dielectric version	high current version	high contact stability version
Contact arrangement	2 form C, 2 CO		
Max. switching voltage	220VDC, 250VAC	220VDC, 250VAC	220VDC, 250VAC
Rated current	2A	5A	2A
Limiting continuous current	2A	5A	2A
Switching power	60W, 62.5VA		
Contact material	PdRu +Au covered	AgNi +Au covered	PdRu +Au covered
Contact style	I: single contacts twin cont. twin cont. twin cont.		
Minimum switching voltage	100µV		
Initial contact resistance	<50mΩ at 10mA/30mV I: <100mΩ		
Thermoelectric potential	<10µV		
Operate time	typ. 1ms, max. 3ms		
Release time	typ. 1ms, max. 3ms		
without diode in parallel	typ. 3ms, max. 5ms		
with diode in parallel	typ. 1ms, max. 5ms		
Bounce time max.	typ. 1ms, max. 5ms		

Max. DC load breaking capacity



Contact Data (continued)

Electrical endurance at contact application 0 (≤30mV/≤10mA)	min. 2.5x10 ⁶ operations
cable load open end	min. 2.0x10 ⁶ operations
resistive, 125VDC / 0.24A - 30W	min. 5x10 ⁶ operations
resistive, 220 VDC / 0.27A - 60W	min. 1x10 ⁶ operations
resistive, 250VAC / 0.25A - 62.5VA	min. 1x10 ⁶ operations
resistive, 30VDC / 1A - 30W	min. 5x10 ⁶ operations
resistive, 30VDC / 2A - 60W	min. 1x10 ⁶ operations
UL contact rating	30VDC, 2A, 60W, NO only 110VDC, 0.3A, 33W 220VDC, 0.27A, 60W 125VAC, 0.5A, 62.5W 250VAC, 0.25A, 62.5W
Mechanical endurance	10 ⁶ operations

Coil Data

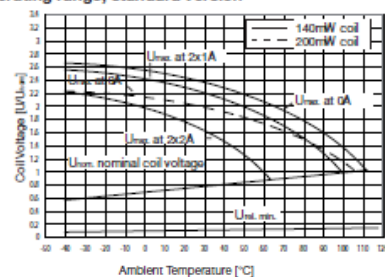
Magnetic system	monostable, bistable
Coil voltage range	1.5 to 24VDC

Coil versions, standard version, monostable, 1 coil

Coil code	Rated voltage VDC	Operate voltage VDC	Release voltage VDC	Coil resistance Ω±10%	Rated coil power mW
00	1.5	1.13	0.15	16	140
08	2.4	1.80	0.24	41	140
01	3	2.25	0.30	64	140
02	4.5	3.38	0.45	145	140
03	5	3.75	0.50	178	140
04	6	4.50	0.60	257	140
05	9	6.75	0.90	579	140
06	12	9.00	1.20	1029	140
07	24	18.00	2.40	2880	200

All figures are given for coil without pre-energization, at ambient temperature +23°C

Coil operating range, standard version



01-2016, Rev. 0116

www.te.com

© 2015 Tyco Electronics Corporation, a TE Connectivity Ltd. company

Datasheets and product specification according to IEC 61810-1 and to be used only together with the 'Definitions' section.

Datasheets and product data is subject to the terms of the disclaimer and all chapters of the 'Definitions' section, available at <http://relays.te.com/definitions>

Datasheets, product data, 'Definitions' section, application notes and all specifications are subject to change.

IM Relay (Continued)

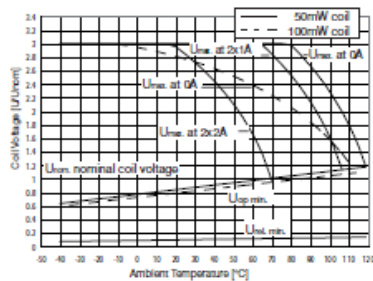
Coil Data (continued)

Coil versions, sensitive version, monostable, 1 coil					
Coil code	Rated voltage VDC	Operate voltage VDC	Release voltage VDC	Coil resistance $\Omega \pm 10\%$	Rated coil power mW
11	3	2.40	0.30	91	100
12	4.5	3.60	0.45	194	100
13	5	4.00	0.50	234	100
16	12	9.60	1.20	1315	110
17	24	19.20	2.40	4120	140

Coil versions, ultra high sensitive version, monostable, 1 coil					
Coil code	Rated voltage VDC	Operate voltage VDC	Release voltage VDC	Coil resistance $\Omega \pm 10\%$	Rated coil power mW
21	3	2.55	0.30	180	50
22	4.5	3.83	0.45	405	50
23	5	4.25	0.50	500	50
26	12	10.20	1.20	2880	50

All figures are given for coil without pre-energization, at ambient temperature +23°C

Coil operating range, sensitive and ultra high sensitive coil

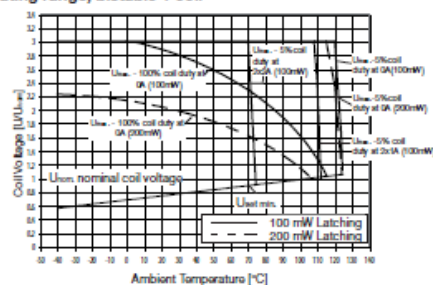


Coil versions, standard, bistable 1 coil

Coil code	Rated voltage VDC	Set voltage VDC	Reset voltage VDC	Coil resistance $\Omega \pm 10\%$	Rated coil power mW
40	1.5	1.13	-1.13	23	100
48	2.4	1.80	-1.80	58	100
41	3	2.25	-2.25	90	100
42	4.5	3.38	-3.38	203	100
43	5	3.75	-3.75	250	100
44	6	4.50	-4.50	360	100
45	9	6.75	-6.75	810	100
46	12	9.00	-9.00	1440	100
47	24	18.00	-18.00	2880	200

All figures are given for coil without pre-energization, at ambient temperature +23°C

Coil operating range, bistable 1 coil



Insulation Data

	standard*	C*	D,P,I
	standard, sensitive, ultra high sensitive version	high dielectric version	high current, high contact stability version
Initial dielectric strength			
between open contacts	1000V _{rms}	1500V _{rms}	750V _{rms}
between contact and coil	1800V _{rms}	1800V _{rms}	1500V _{rms}
between adjacent contacts	1000V _{rms}	1800V _{rms}	750V _{rms}
Initial surge withstand voltage			
between open contacts	1500V	2500V	1000V
between contact and coil	2500V	2500V	2000V
between adjacent contacts	1500V	2500V	1000V
Initial insulation resistance			
between insulated elements	>10 ⁹ Ω	>10 ⁹ Ω	>10 ⁹ Ω
Capacitance			
between open contacts		max. 1pF	
between contact and coil		max. 2pF	
between adjacent contacts		max. 2p	

*this relay contains SF6 (Sulfur hexafluoride, CAS number: 2551-62-4) for dielectric strength enhancement, SF6 is hermetically sealed in relay without leaks to air during normal application as recommended per the applicable product specification. It is clarified that the usage of SF6 in mini signal relay is not prohibited by related regulations. Please contact TE local sales or field engineer for further information and detailed material declaration.

RF Data

Isolation at 100MHz/900MHz	37.0dB/18.8dB
Insertion loss at 100MHz/900MHz	0.03dB/0.33dB
Voltage standing wave ratio (VSWR) at 100MHz/900MHz	1.06/1.49

Other Data

Material compliance: EU RoHS/ELV, China RoHS, REACH, Halogen content refer to the Product Compliance Support Center at www.te.com/customer-support/rohssupportcenter

Ambient temperature	-40°C to +85°C
Thermal resistance	<150K/W
Category of environmental protection	IEC 61810 RT V - hermetically sealed
Vibration resistance (functional)	20g, 10 to 500Hz
Shock resistance (functional), half sinus 11ms	50g
Shock resistance (destructive), half sinus 0.5ms	500g
Mounting position	any
Weight	max. 0.75g
Resistance to soldering heat SMT	IEC 60068-2-58
Moisture sensitive level, JEDEC J-Std-020D	MSL3
related only to SMT relays	
packed in original dry-packs	

Ultrasonic cleaning not recommended

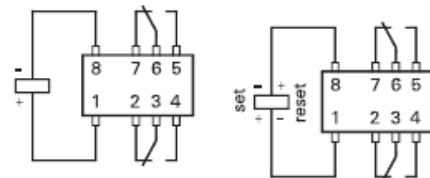
Packaging/unit tube/50pcs., box/1000 pcs.

Terminal assignment reel/1000 pcs., box/1000 or 5000 pcs.

TCSPC version relay Monostable version, 1 coil

rest condition Bistable version, 1 coil

rest condition



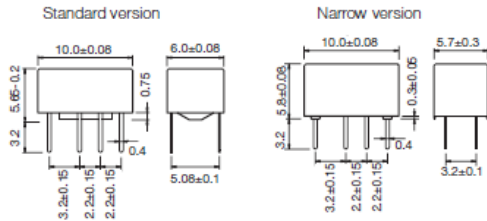
Contacts are shown in reset condition. Contact position might change during transportation and must be reset before use.

2

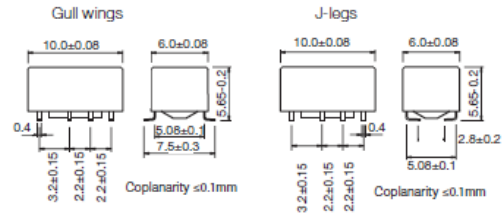
IM Relay (Continued)

Dimensions

THT version

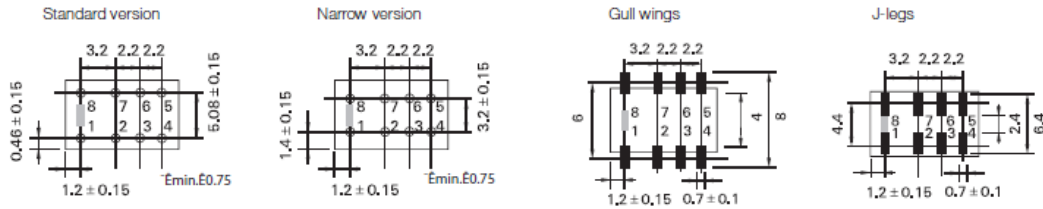


SMT version



PCB layout

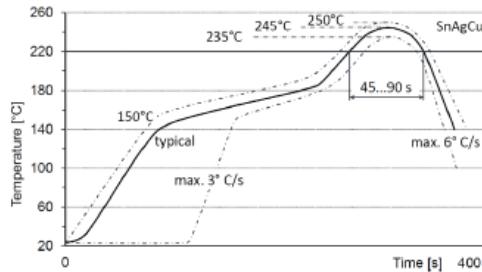
TOP view on component side of PCB



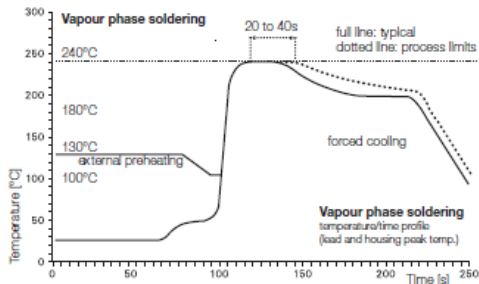
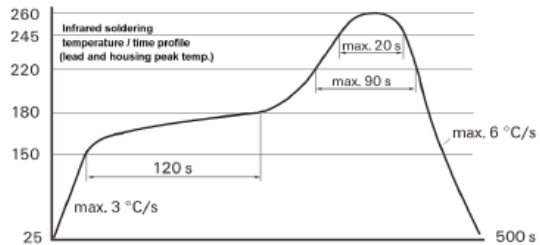
Processing

Recommended soldering conditions

Recommended reflow soldering profile IEC 61760-1



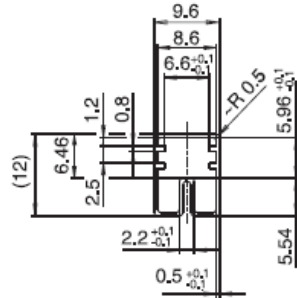
Resistance to soldering heat - reflow profile IEC 60068-2-58



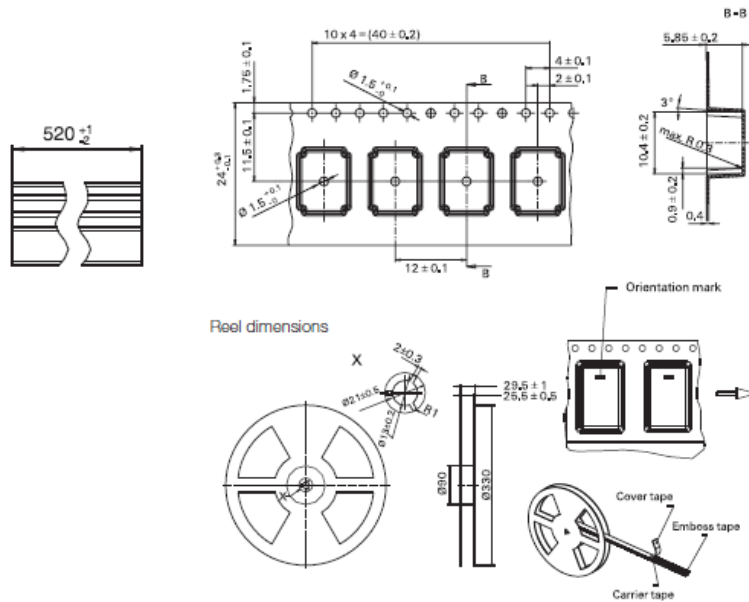
IM Relay (Continued)

Packing

Tube for THT version
50 relays per tube, 1000 relays per box



Tape and reel for SMT version
1000 relays per reel, 1000 or 5000 relays per box



Product code structure	Typical product code	IM	03	G	R
Type	IM Signal Relays IM Series				
Contact arrangement	Blank 2 form C, 2 CO				
Coil	Coil code: please refer to coil versions table				
Performance type	Blank Standard version	I High current version HVAC			
		C High dielectric version			
		D High current version			
		P High contact stability version			
Terminals	T THT - standard	J SMT - J-leg			
	N THT - narrow version	G SMT - gull wing			
Packing	S Tube	R Reel			

4

01-2016, Rev. 0116
www.te.com
© 2015 Tyco Electronics Corporation,
a TE Connectivity Ltd. company

Datasheets and product specification
according to IEC 61810-1 and to be used
only together with the 'Definitions' section.

Datasheets and product data is subject to the
terms of the disclaimer and all chapters of
the 'Definitions' section, available at
<http://relays.te.com/definitions>

Datasheets, product data, 'Definitions' section,
application notes and all specifications
are subject to change.

Diseño e implementación de un sistema de medida de gases con Arduino



Signal Relays

AXICOM

IM Relay (Continued)

Product code	Arrangement	Perf. type	Coil	Coil type	Coil	Terminals	Part number
IM00GR	2 form C, 2 CO contacts	Standard	1.5VDC	Monostable	Standard	SMT gull wing	3-1462037-7
IM00JR						SMT J-leg	3-1462037-9
IM00NS						THT narrow	1-1462038-0
IM01GR			3VDC			SMT gull wing	1462037-1
IM01JR						SMT J-leg	4-1462037-0
IM01NS						THT narrow	1-1462038-1
IM01TS						THT standard	1462037-4
IM02GR			4.5VDC			SMT gull wing	1462037-9
IM02JR						SMT J-leg	1-1462037-1
IM02NS						THT narrow	1-1462038-2
IM03GR			5VDC			SMT gull wing	1-1462037-4
IM03JR						SMT J-leg	1-1462037-6
IM03NS						THT narrow	1-1462038-3
IM03TS						THT standard	1-1462037-8
IM04GR			6VDC			SMT gull wing	4-1462037-2
IM04JR						SMT J-leg	4-1462037-4
IM04NS						THT narrow	1-1462038-4
IM05GR			9VDC			SMT gull wing	3-1462037-4
IM05JR						SMT J-leg	4-1462037-5
IM05NS						THT narrow	1-1462038-5
IM05TS						THT standard	2-1462037-2
IM06GR			12VDC			SMT gull wing	2-1462037-3
IM06JR						SMT J-leg	4-1462037-6
IM06NS						THT narrow	1-1462038-6
IM07GR			24VDC			SMT gull wing	4-1462037-7
IM07JR						SMT J-leg	4-1462037-8
IM07NS						THT narrow	1-1462038-7
IM08GR			2.4VDC			SMT gull wing	6-1462039-3
IM11GR			3VDC		High sens.		9-1462038-5
IM12GR			4.5VDC				
IM13GR			5VDC				1462039-4
IM16GR			12VDC				1462039-5
IM17GR			24VDC				1462039-6
IM17TS						THT standard	4-1462039-6
IM21GR			3VDC		Ultra high sensitive	SMT gull wing	2-1462039-6
IM21TS						THT standard	1-1462039-5
IM22GR			4.5VDC			SMT gull wing	2-1462039-7
IM22TS						THT standard	2-1462039-8
IM23GR			5VDC			SMT gull wing	2-1462039-9
IM23TS						THT standard	3-1462039-0
IM26GR			12VDC			SMT gull wing	3-1462039-1
IM26TS						THT standard	3-1462039-2
IM40GR			1.5VDC	Bistable	Standard	SMT gull wing	5-1462037-1
IM40JR							
IM40NS						THT narrow	1-1462038-8
IM40TS						THT standard	5-1462037-0
IM41GR			3VDC			SMT gull wing	5-1462037-4
IM41JR						SMT J-leg	5-1462037-5
IM41NS						THT narrow	1-1462038-9
IM41TS						THT standard	5-1462037-3
IM42GR			4.5VDC			SMT gull wing	3-1462037-1
IM42JR						SMT J-leg	5-1462037-7
IM42NS						THT narrow	2-1462038-0
IM42TS						THT standard	5-1462037-6
IM43GR			5VDC			SMT gull wing	5-1462037-9
IM43JR						SMT J-leg	6-1462037-0
IM43NS						THT narrow	2-1462038-1
IM43TS						THT standard	5-1462037-8
IM44GR			6VDC			SMT gull wing	6-1462037-2
IM44JR						SMT J-leg	6-1462037-3
IM44NS						THT narrow	2-1462038-2
IM44TS						THT standard	6-1462037-1
IM45GR			9VDC			SMT gull wing	6-1462037-4
IM45JR						SMT J-leg	6-1462037-5
IM45NS						THT narrow	2-1462038-3
IM46GR			12VDC			SMT gull wing	6-1462037-7
IM46JR						SMT J-leg	6-1462037-8
IM46NS						THT narrow	2-1462038-4
IM46TS						THT standard	6-1462037-6
IM47GR			24VDC			SMT gull wing	7-1462037-0
IM47JR						SMT J-leg	7-1462037-1
IM47NS						THT narrow	2-1462038-5
IM47TS						THT standard	6-1462037-9
IM48GR			2.4VDC			SMT gull wing	1462039-8

01-2016, Rev. 0116
www.te.com
© 2015 Tyco Electronics Corporation,
a TE Connectivity Ltd. company

Datasheets and product specification
according to IEC 61810-1 and to be used
only together with the 'Definitions' section.

Datasheets and product data is subject to the
terms of the disclaimer and all chapters of
the 'Definitions' section, available at
<http://relays.te.com/definitions>

Datasheets, product data, 'Definitions' sec-
tion, application notes and all specifications
are subject to change.

5

IM Relay (Continued)

Product code	Arrangement	Perf. type	Coil	Coil type	Coil	Terminals	Part number
IM01CGR	2 form C 2 CO contacts	High dielectric	3VDC	Monostable	Standard	SMT gull wing	1462039-4
IM01CTS			4.5VDC			THT standard	9-1462039-6
IM02CGR			5VDC			SMT gull wing	1462039-1
IM03CGR							1462039-2
IM03CJR						SMT J-leg	4-1462039-8
IM03CTS						THT standard	4-1462039-7
IM05CGR			9VDC			SMT gull wing	1462039-3
IM06CGR			12VDC				9-1462039-9
IM06CJR						SMT J-leg	3-1462039-4
IM06CTS						THT standard	4-1462039-9
IM07CGR			24VDC			SMT gull wing	1462039-2
IM07CTS						THT standard	1462039-1
IM17CGR					High sens.	SMT gull wing	1462039-7
IM41CGR			3VDC	Bistable	Standard		4-1462039-2
IM42CGR			4.5VDC				
IM43CGR			5VDC				9-1462039-7
IM02DGR		High current	4.5VDC	Monostable	Standard		9-1462039-8
IM03DGR			5VDC				
IM03DJR						SMT J-leg	9-1462039-3
IM05DGR			9VDC			SMT gull wing	1-1462039-7
IM06DGR			12VDC				1-1462039-8
IM06DJR						SMT J-leg	7-1462039-0
IM06DTS						THT standard	3-1462039-8
IM07DGR			24VDC			SMT gull wing	3-1462039-7
IM07DJR						SMT J-leg	7-1462039-4
IM07DTS						THT standard	7-1462039-2
IM22DTS			4.5VDC		U.h.sens.		7-1462039-6
IM41DGR			3VDC	Bistable	Standard	SMT gull wing	6-1462039-8
IM42DGR			4.5VDC				
IM42DNS						THT narrow	1-1462039-6
IM43DNS			12VDC				1-1462039-2
IM47DJR			24VDC			SMT J-leg	7-1462039-5
IM48DGR			2.4VDC			SMT gull wing	1462039-9
IM49DGR			2VDC				2-1462039-2
IM48IGR			2.4VDC				1462047-1
IM49IGR			2VDC				1462047-4
IM02PGR		High contact stability	4.5VDC	Monostable	Standard		5-1462039-4
IM03PNS			5VDC				
IM03PGR						SMT gull wing	5-1462039-5
IM03PUR						SMT J-leg	6-1462039-6
IM03PNS						THT narrow	5-1462039-9
IM06PGR			12VDC			SMT gull wing	5-1462039-6
IM06PNS						THT narrow	6-1462039-0
IM42PGR			4.5VDC	Bistable	Standard	SMT gull wing	5-1462039-7
IM43PNS							
IM43PGR						SMT gull wing	7-1462039-9
IM46PNS			12VDC			THT narrow	6-1462039-1

6

01-2016, Rev. 0116
www.te.com
 © 2015 Tyco Electronics Corporation,
 a TE Connectivity Ltd. company

Datasheets and product specification
 according to IEC 61810-1 and to be used
 only together with the 'Definitions' section.

Datasheets and product data is subject to the
 terms of the disclaimer and all chapters of
 the 'Definitions' section, available at
<http://relays.te.com/definitions>

Datasheets, product data, 'Definitions' section,
 application notes and all specifications
 are subject to change.