

# UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE ZACATECAS



## CONSTRUCCIÓN DE UNA CÁMARA DE FERMENTACIÓN ANAERÓBICA PARA DETERMINAR LA CALIDAD DE ALIMENTOS

**Joel Alejandro Castillo Esparza**

Tesis de Maestría

presentada a la Unidad Académica de Ingeniería Eléctrica  
de acuerdo a los requerimientos de la Universidad para obtener el título de

**MAESTRO EN CIENCIAS DE LA INGENIERÍA**

Directores de tesis:

Dr. Carlos Alberto Olvera Olvera

Dr. Héctor Gutiérrez Bañuelos

UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

Zacatecas, Zac., 14 de Octubre de 2016

## APROBACIÓN DE EXAMEN PROFESIONAL



Se aprueba por unanimidad el Examen Profesional de Joel Alejandro Castillo Esparza presentado el 14 de Octubre de 2016 para obtener el título de:

### MAESTRO EN CIENCIAS DE LA INGENIERÍA

Jurado:

Presidente: Dr. Carlos Alberto Olvera Olvera \_\_\_\_\_

Primer vocal: Dr. Héctor Gutiérrez Bañuelos \_\_\_\_\_

Segundo vocal: Dr. Carlos Alberto Olvera Olvera \_\_\_\_\_

Tercer vocal: Dr. Tonatiuh Saucedo Anaya \_\_\_\_\_

Cuarto vocal: Dra. María Auxiliadora Araiza Esquivel \_\_\_\_\_

## **RESUMEN**

La construcción de una cámara de fermentación anaeróbica ayudará a realizar pruebas con nuevos alimentos para toda clase de animales, en un tiempo más corto de lo habitual, pues se podrán checar hasta 8 alimentos o dietas a la vez, y tener los resultados de estos en 48 horas, que es el tiempo de duración de la fermentación ruminal.

El costo de la cámara será mucho menor que lo reportado en las únicas cámaras realizadas hasta ahora.

La cámara de fermentación será fácil de manejar y los programas serán sencillos de visualizar para cualquier usuario que requiera usar la cámara.

Además ayudará no solo a los profesores-investigadores de nuestra Universidad, sino que se espera vengan investigadores de todo el país, incluso de otros países, pues hasta el momento el único lugar que cuenta con estos artefactos es Estados Unidos de América, esto ayudaría a poner a nuestra máxima casa de estudios en un lugar muy alto en la industria ganadera pero sobre todo en el rubro de la nutrición ruminal.

... A los que siempre me apoyaron a lo largo de todos mis estudios. Y que hicieron de la escuela no algo aburrido u obligatorio, sino algo divertido e hicieron darme cuenta de la importancia que tendría en mi vida.

## Agradecimientos

A mis padres por siempre estar al pendiente de mí.

A CONACYT (Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología) por la beca No.337505 que me fue otorgada como alumno de la Maestría en Ciencias de la Ingeniería, programa incorporado al PNPC.

A todos mis maestros desde preescolar, primaria, secundaria, preparatoria y universidad que aunque fueran buenos o malos, de todos por muy poco o mucho aprendí algo.

A mis asesores: el Dr. Carlos Alberto Olvera Olvera y el Dr. Héctor Gutiérrez Bañuelos (Docente-Investigador incorporado a la Unidad Académica de Medicina Veterinaria y Zootecnia de nuestra Universidad) por su gran apoyo incondicional y ayuda para la realización de este proyecto

A mi mujer e hijas por nunca interponerse entre la escuela y yo, esperarme, estar conmigo y apoyarme siempre.

# Contenido General

	Pag.
<b>Resumen</b> . . . . .	ii
<b>Lista de Figuras</b> . . . . .	vii
<b>Lista de Tablas</b> . . . . .	x
<b>Lista de acrónimos y nomenclatura</b> . . . . .	xi
<b>1 Introducción</b> . . . . .	1
1.1 Antecedentes . . . . .	1
1.1.1 Resultados de la estancia en la Universidad de Texas A&M . . . . .	7
1.2 Justificación y posible aplicación en Zacatecas . . . . .	10
1.3 Hipótesis . . . . .	11
1.4 Objetivos Generales . . . . .	11
1.5 Objetivos Particulares . . . . .	11
1.6 Metodología . . . . .	12
1.7 Descripción de la tesis . . . . .	13
<b>2 Marco teórico</b> . . . . .	14
2.1 Rumiantes . . . . .	14
2.2 Digestibilidad de los alimentos. . . . .	15
2.2.1 Digestibilidad in vivo. . . . .	15
2.2.2 Digestibilidad in situ. . . . .	17
2.2.3 Digestibilidad in vitro. . . . .	18
2.3 Principio de funcionamiento de la cámara de fermentación . . . . .	19
2.3.1 Sistema de campo magnético. . . . .	19
2.3.2 Sistema de adquisición de datos. . . . .	20
2.3.3 Sistema de control de temperatura. . . . .	22
2.4 Producción de gas in vitro. . . . .	23
<b>3 Armado de la cámara de fermentación anaeróbica y primeras pruebas.</b> . . . . .	25
3.1 Armado de la cámara. . . . .	25
3.1.1 Desarrollo del sistema de campo magnético . . . . .	28

	Pag.
3.1.2 Desarrollo del sistema de adquisición de datos. . . . .	30
3.1.3 Desarrollo del sistema de control de temperatura. . . . .	33
3.2 Pruebas iniciales . . . . .	40
<b>4 Resultados . . . . .</b>	<b>44</b>
<b>Conclusiones . . . . .</b>	<b>45</b>
<b>Apéndice           Programas en arduino y Hojas de Datos. . . . .</b>	<b>46</b>
A.1 Programa en arduino para el sistema de adquisición de datos. . . . .	46
A.2 Programa en arduino para el sistema de control de temperatura. . . . .	48
A.3 Hojas de datos de los componentes electrónicos utilizados. . . . .	50
<b>Referencias . . . . .</b>	<b>103</b>

## Lista de figuras

Figura	Pag.
1.1 Cámaras computarizadas de producción de gas desarrolladas en la Universidad de Cornell, Ithaca, NY. . . . .	2
1.2 Sensores de presión detallados. . . . .	3
1.3 Interior de la cámara desarrollada en la Universidad de Cornell. . . . .	3
1.4 Sensor de presión y conexiones usados en el desarrollo de la Cámara de la Universidad de Texas A&M. . . . .	4
1.5 Convertidor analógico-digital de PicoTech (software utilizado para adquisición de datos de la cámara). . . . .	4
1.6 Placa de circuito impreso incorporado que muestra los detalles de los divisores de tensión y la caja de terminales de PicoTech. . . . .	5
1.7 Exterior de la cámara de fermentación y computadora IBM . . . . .	5
1.8 Interior de la cámara de fermentación, mostrando los frascos Wheaton de 250 ml, sensores de presión y cables; para una capacidad para fermentar 22 muestras. . . . .	6
1.9 Cámaras de la Universidad de Texas A&M. . . . .	7
1.10 Conexiones de cables del divisor de voltaje. . . . .	8
1.11 Control de temperatura de Ranco. . . . .	9
2.1 Técnica in vivo, ejemplo 1. . . . .	16
2.2 Técnica in vivo, ejemplo 2. . . . .	16
2.3 Técnica in situ . . . . .	17
2.4 Técnica in vitro en [8], primera vez que se usaba. . . . .	18



Figura	Pag.
2.5 Líneas de campo magnético de un imán. . . . .	20
2.6 Imanes montados en los motores, mostrados dentro de la cámara. . . . .	20
2.7 Sensores de presión sin conectar dentro de la cámara. . . . .	21
2.8 Tarjeta arduino Mega 2560, usada para la adquisición de datos de los sensores. . . . .	22
2.9 Tarjeta arduino Mega 2560, conectada a los relevadores que activarán los focos de 100 W. . . . .	23
2.10 Cámara de fermentación: se observan los focos de 100 W en la parte trasera de la cámara. . . . .	23
2.11 Técnica de producción de gas in vitro. . . . .	24
3.1 Sensor de presión sin conectar a la jeringa. . . . .	25
3.2 Frascos Wheaton. . . . .	26
3.3 Jeringas para los sensores de presión. . . . .	26
3.4 Cascarón de la cámara. . . . .	26
3.5 Colocación de la puerta y perforación de la cámara. . . . .	27
3.6 Interior de la cámara sin sensores ni base. . . . .	27
3.7 Motores de 6 V usados para hacer girar los imanes. . . . .	28
3.8 Soldadura en frío para unión de los imanes-motores. . . . .	28
3.9 Unión imanes-motores montados en su base, y contenedora para los frascos de prueba Wheaton. . . . .	29
3.10 Interior de la cámara de fermentación con la base para los frascos Wheaton y los imanes. . . . .	30
3.11 Cautín, soldadura y pasta usados para soldadura de sensores. . . . .	30
3.12 Tarjeta Arduino MEGA 2560, usada para el sistema de adquisición de datos. . . . .	31
3.13 Conexión de la salida de los sensores de presión a la tarjeta arduino MEGA. . . . .	32

Figura	Pag.
3.14 Sensores de presión listos para entrar en los frascos Wheaton. . . . .	33
3.15 Pasador y cámara cerrada para no dejar escapar el calor generado por los focos. . .	34
3.16 Multímetro digital usado para checar la temperatura del interior de la caja. . . . .	34
3.17 Esquema de conexión para un foco. . . . .	36
3.18 Esquemático de conexión para encender el foco con arduino. . . . .	37
3.19 Circuito real para el encendido de los dos focos. . . . .	38
3.20 Pruebas del control de temperatura con la cámara cerrada. . . . .	39
3.21 Prueba con los tres sistemas funcionando. . . . .	40
3.22 Gráfica de los sensores de presión para la prueba de los tres sistemas. . . . .	42

## Lista de tablas

Tabla	Pag.
3.1 Datos de las pruebas con los tres sistemas trabajando al mismo tiempo. . . . .	41

## Lista de acrónimos y nomenclatura

No.	Número
PNPC	Programa Nacional de Posgrados de Calidad
IBM	International Business Machines
ADC	Analog-to-Digital Converter
Win	Windows
NY	New York
USD	United States Dollar
DC	Direct Current
°C	Grados Centígrados
W	Watts (Potencia)
GND	Ground-Tierra eléctrica
V	Volts (Voltaje)
seg	Segundos
min	Minutos
PC	Personal Computer

USB      Universal Serial Bus

# Capítulo 1

## Introducción

### 1.1 Antecedentes

Actualmente se han visto muchos avances tecnológicos en todos los sectores, tal es el caso de la ganadería, en el que cada vez se desarrollan más inventos para tener un control óptimo y automatizado de los animales en las granjas, al igual que una mejora en los alimentos para producir más y mejores animales.

En cuanto a lo que se refiere a determinar la calidad de los alimentos para los rumiantes, existen varias técnicas para determinar el patrón de fermentación de los alimentos a través de la incubación de fluido ruminal [1].

Las técnicas in vivo e in situ son conocidas por sus métodos laboriosos y costosos, grandes variaciones y que han sido difíciles de estandarizar[2].

Otros han proporcionado una discusión extensiva de las ventajas y desventajas de las técnicas in situ como en [3] y [4].

Las técnicas que usan la incubación in vitro con fluido ruminal han sido descritas y utilizadas para determinar los patrones de fermentación de alimentos [5] y [6], debido a su facilidad de uso y bajo costo. La técnica in vitro tiene sus propias limitaciones. El principal factor que puede afectar el patrón de fermentación es el inóculo (Introducción de microorganismos

vivos, muertos o atenuados, en un organismo de forma accidental o voluntaria.) debido a la variabilidad intrínseca del fluido del rumen y el horario de recolección.

Otros factores incluyen: las dietas de alimentación de los animales donantes y las especies de animales donantes [7].

En [8] Pell y Shofield desarrollaron un sistema computarizado de producción de gas mostrado en la Figura 1.1, en el cual sensores individuales de presión, que observamos en la Figura 1.2, transmitían datos a una computadora IBM a través de una tarjeta convertidora analógico-digital. Este proceso automatizado podía generar varios puntos de datos para cada muestra dentro de un período de fermentación aceptable. Su sistema incluye una incubadora, mostrado su interior en la Figura 1.3, con un agitador multiplaza, sensores de presión unidos a la incubación, los cuales eran frascos Wheaton de 50 ml y la tarjeta ADC, además de una computadora con Microsoft Windows 3.1, y el software Atlantis para Win 3.1. Su sistema era capaz de leer 16 canales a la vez.



Figura 1.1 Cámaras computarizadas de producción de gas desarrolladas en la Universidad de Cornell, Ithaca, NY.

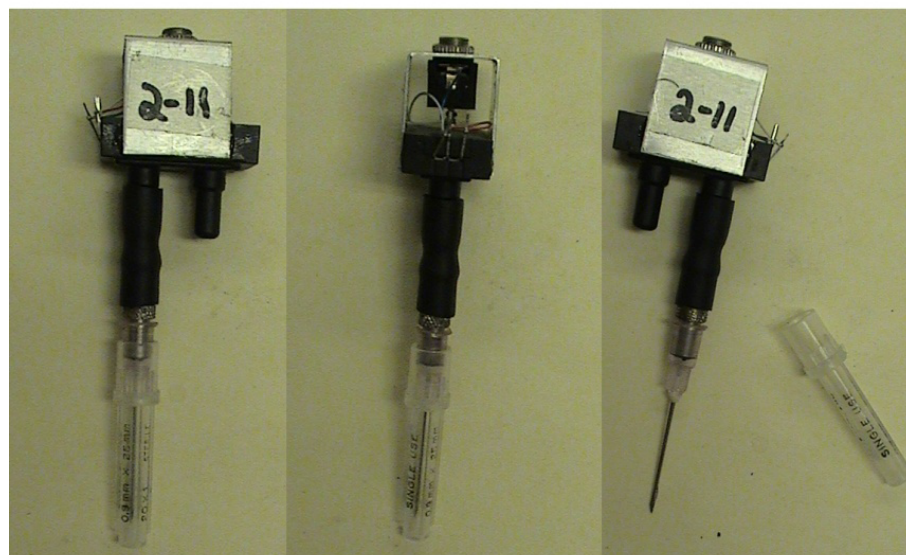


Figura 1.2 Sensores de presión detallados.



Figura 1.3 Interior de la cámara desarrollada en la Universidad de Cornell.



Después de 15 años, en [1], se desarrolló una cámara similar a la descrita en [8], excepto que esta fue diseñada para contener más y más grandes frascos de fermentación.

Dado que la tecnología avanzó mucho durante esos 15 años, el hardware y software cambió y mejoró. Los componentes usados en [1] para la construcción de la cámara de Tedeschi son mostrados en las Figuras 1.4, 1.5 y 1.6.

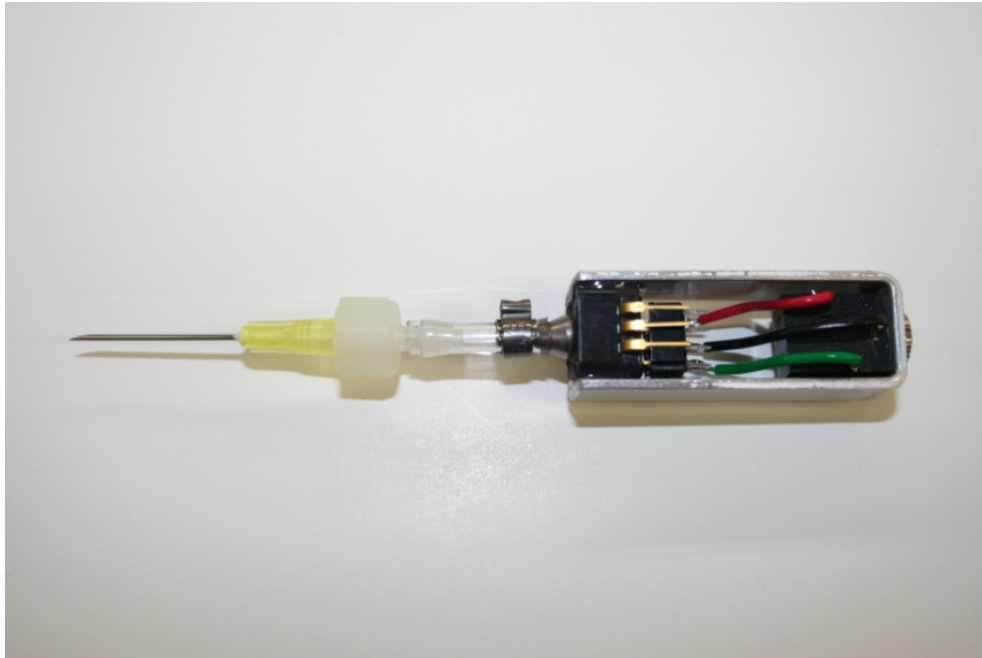


Figura 1.4 Sensor de presión y conexiones usados en el desarrollo de la Cámara de la Universidad de Texas A&M.

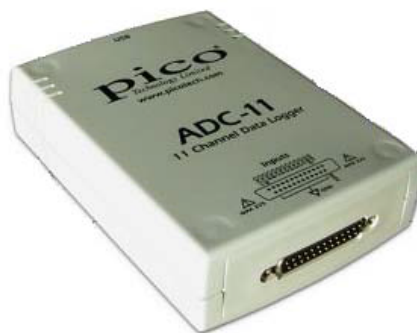


Figura 1.5 Convertidor analógico-digital de PicoTech (software utilizado para adquisición de datos de la cámara).

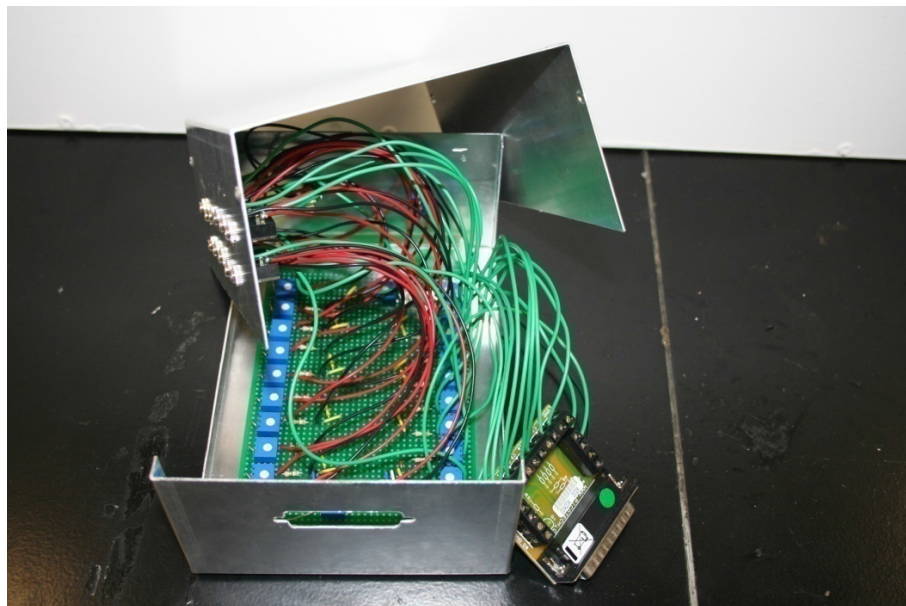


Figura 1.6 Placa de circuito impreso incorporado que muestra los detalles de los divisores de tensión y la caja de terminales de PicoTech.

La cámara terminada se muestra en las Figuras 1.7 y 1.8.



Figura 1.7 Exterior de la cámara de fermentación y computadora IBM

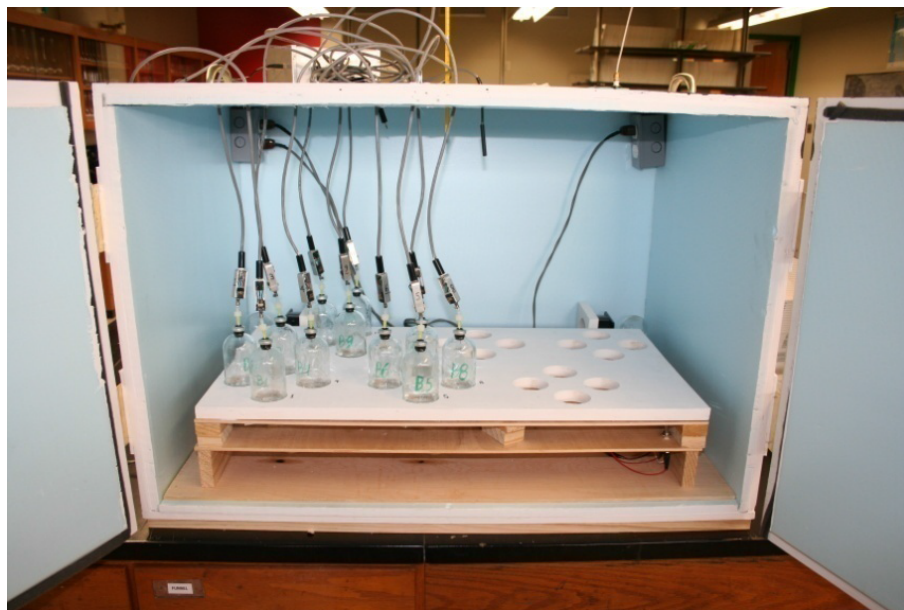


Figura 1.8 Interior de la cámara de fermentación, mostrando los frascos Wheaton de 250 ml, sensores de presión y cables; para una capacidad para fermentar 22 muestras.

En [1] también nos da un dato muy interesante que sería el costo aproximado de los componentes para el desarrollo de la cámara, el cual nos da como total de gastos sin contar el precio de la computadora y accesorios, un total de 5600 USD, que convirtiéndolos a pesos nos da un aproximado de 103,600 pesos (tomando el dólar a 18.5 pesos). Lo cual es una cantidad muy alta.

### 1.1.1 Resultados de la estancia en la Universidad de Texas A&M

En el mes de Octubre del año 2015 se realizó una estancia con duración de un mes en la Universidad de Texas A&M en la ciudad de College Station, Texas, USA. La finalidad de esa estancia fue el observar cómo trabajaba la cámara y si la habían actualizado desde lo reportado en [1], y como era de esperarse la cámara ya no estaba igual, además que ya no era una sino dos cámaras las que se tenían en el laboratorio como se muestran en la Figura 1.9.



Figura 1.9 Cámaras de la Universidad de Texas A&M.

La estancia fue de gran provecho, pues se cumplió lo que se pretendía, ya que se aprendió a usar la cámara, los componentes que la formaban, cuánto tiempo debía de estar en funcionamiento, la temperatura a la que tenía que trabajar, cómo tenía que ir conectada y para qué funcionaba cada elemento dentro y fuera de ella.

### 1.1.1.1 Desventajas de la cámara de fermentación de la Universidad de Texas A&M

Tal vez la cámara desarrollada en la Universidad de Texas A&M funcione perfectamente, pero tiene unas ligeras desventajas, como lo serían:

- El costo excesivo, como se dijo anteriormente la cámara descrita en [1] sobrepasaba los 100 mil pesos, ahora que se ha actualizado y mejorado, el costo podría ser del doble o hasta más.
- Demasiados circuitos, la cámara cuenta como ya se mencionó, con un divisor de voltaje que sirve para bajar el voltaje y así pueda ser leído por la tarjeta convertidora analógica-digital, y esta iría a la computadora, pero si vemos la Figura 1.10 nos daremos cuenta que las conexiones entre estas no son nada fáciles, incluso se podría equivocar y conectar una muestra donde no correspondería, además ya existen tarjetas como arduino y otras más a las que les puedes meter la salida analógica del sensor de presión directamente sin necesidad de usar un divisor de voltaje o un convertidor analógico-digital, y con un poco de programación mostrar los datos directamente de voltaje/presión en la pantalla de arduino, sin necesidad de otro software.



Figura 1.10 Conexiones de cables del divisor de voltaje.

- El control de temperatura, se usa un control de temperatura electrónico de la marca Ranco, mostrado en la Figura 1.11 que consultado en línea en [9] tiene un valor de comercial de más de 4000 pesos, y que este control también podría hacerse con una tarjeta como arduino de menos de 800 pesos.



Figura 1.11 Control de temperatura de Ranco.

## 1.2 Justificación y posible aplicación en Zacatecas

El desarrollo de una cámara de fermentación anaeróbica para nuestra universidad traerá consigo una gran cantidad de beneficios, los cuales serían:

- Poner en el mapa a nuestra Universidad, Estado e incluso el país dentro de la tecnología para la industria ganadera, ya que en el mercado no hay nada igual a las cámaras de fermentación, pues solo existen las de la Universidad de Texas A&M, la de la Universidad de Cornell y por último una en Brasil, esta última desarrollada por Tedeschi, el mismo de la Universidad de Texas A&M, ya que es su país natal, en el mercado lo más parecido son frascos donde metes las muestras de alimento, pero se trata de una muestra a la vez y el costo de cada una de estas sobrepasa los 15 mil pesos.
- El costo de desarrollo de la cámara para nuestra Universidad, utilizando la tarjeta de adquisición de datos arduino y electrónica convencional bajaría los costos proporcionados en [1], por lo menos un 50 %, lo cual hablando de cantidades de decenas de miles de pesos, es un ahorro sustancial.
- Otro beneficio del lado de la producción, es que al poder checar más muestras a la vez, se podrían encontrar mejores alimentos más rápido, pues en la cámara, se pueden meter hasta 8 muestras por duplicado, lo cual significa meter la misma muestra en dos frascos diferentes, para obtener resultados más precisos y seguros, y en 2 días tener los resultados de 8 diferentes alimentos.
- Ya no se tendría que ir a Estados Unidos a realizar pruebas con la cámara, pues ya tendríamos nuestro propio prototipo, y en lugar de nosotros ir, habría otra solución para los profesores-investigadores que desean checar sus muestras; debido a que hay muchas personas que van a la Universidad de Texas A&M para realizar pruebas con la cámara, y por qué no, darles otra opción para venir a trabajar a nuestro país y ser un centro de atención en ese rubro.

### **1.3 Hipótesis**

Mediante la programación de tarjetas de adquisición de datos y el uso de electrónica convencional es posible construir una cámara de fermentación anaeróbica de bajo costo.

### **1.4 Objetivos Generales**

Construir una cámara de fermentación anaeróbica que ayudará a evaluar un mayor número de dietas de animales a la vez.

### **1.5 Objetivos Particulares**

- Elegir y programar la tarjeta de adquisición de datos.
- Diseñar e implementar el sistema de campo magnético que nos ayudará a simular lo realizado por el estómago del animal.
- Estudiar la técnica de producción de gas in vitro.
- Diseñar, programar e implementar un control de temperatura que nos permita tener la cámara a la temperatura corporal de los animales (39 grados Centígrados).
- Construir la cámara, combinando todos los sistemas.



## 1.6 Metodología

Después de haber realizado la estancia, se sabía perfectamente lo que se debía realizar para construir una mejor y más barata cámara de fermentación.

Para la realización de la cámara se deben tener en consideración tres principales sistemas, enlistados a continuación:

- Sistema de campo magnético.
- Sistema de adquisición de datos.
- Sistema de control de temperatura.

Con el desarrollo de estos tres sistemas se obtendrá la cámara de fermentación anaeróbica que se desea tener.

Para poder realizar la cámara se necesita realizar lo siguiente:

- Escoger los motores, imanes y método de unión motores-imanés adecuado para el sistema de campo magnético.
- Hacer una comparativa entre las diferentes tarjetas de adquisición de datos para saber cuál se adapta más a nuestras necesidades, entre las principales son: puertos de entrada analógicos, puertos digitales, velocidad del procesador.
- Escoger el mejor sensor de presión, el cual debe tener una entrada para conectar la jeringa que irá a los frascos Wheaton.
- Comparar los diferentes cables que servirán como extensión para conectar los sensores de presión a la tarjeta de adquisición de datos.
- Elegir el método para elevar la temperatura.

- Seleccionar la tarjeta que nos servirá para la programación del sistema de control de temperatura.
- Escoger el sensor de temperatura adecuado, que trabaje en el rango que se desea tener la cámara.
- Checar cómo y con que elementos activar los componentes que servirán para elevar la temperatura de la cámara.

La explicación del desarrollo de cada uno de los sistemas necesarios para la implementación de la cámara será explicado en el capítulo 3.

## **1.7 Descripción de la tesis**

Esta tesis es parte de un proyecto que se ha ido desarrollando en los últimos 5 años y que por varias razones no se había concluido, se espera que para trabajos futuros se pueda desarrollar otra cámara más grande para tener más muestras, ya que este prototipo solo es el comienzo de algo que puede ser realizado a gran escala.

## Capítulo 2

# Marco teórico

### 2.1 Rumiantes

En inicio, la cámara de fermentación anaeróbica fue desarrollada sólo para simular el estómago de una vaca, que es uno de los rumiantes más conocidos, aunque actualmente ya eso ha cambiado y puede usarse para simular el alimento de cualquier animal, pero ¿Qué es un rumiante?, consultando en línea en [10] se encontró la siguiente información para entender un poco más cómo es que realmente funciona la cámara:

Rumiante es el adjetivo que se utiliza para calificar a la especie que rumia. El verbo rumiar, por su parte, refiere a la acción de hacer que un alimento regrese a la boca para ser masticado por segunda vez, luego de haber estado depositado en una cierta cavidad. Los rumiantes, de este modo, constituyen el grupo de animales que tienen la característica de rumiar. Estos animales regurgitan el alimento cuando está semi-digerido para volver a masticarlo. Las vacas, las cabras, las ovejas, los venados, los búfalos, los ciervos y los bisontes son rumiantes. Se trata de seres cuyo aparato digestivo está dividido en diferentes cavidades. Por eso se dice que los rumiantes tienen cuatro estómagos, aunque en realidad son cuatro compartimentos o divisiones. La primera cavidad se conoce como rumen. En este sector, diversos microorganismos se encargan de descomponer el alimento en componentes más reducidos para que pueda desarrollarse la digestión. El alimento ya descompuesto es entonces regurgitado desde el rumen y regresa a la boca a través del esófago. El rumiante vuelve a masticar la comida para tragarla nuevamente, pero esta vez pasa al retículo. En esta segunda cavidad el alimento avanza en su

fermentación. El recorrido del alimento sigue hacia el omaso, la tercera cavidad del estómago de un rumiante. En este sector el alimento se sigue descomponiendo y reduciendo, mientras el animal absorbe nutrientes y separa desechos. Finalmente la comida llega al abomaso, la cuarta y última cavidad que participa en el proceso digestivo de los rumiantes.

## **2.2 Digestibilidad de los alimentos.**

La digestibilidad de los alimentos es la proporción de alimento ingerido que no aparece en las heces, utilizable por el animal luego de su absorción. Puede determinarse para un alimento completo o para alguno de sus componentes (proteína, pared celular).

### **2.2.1 Digestibilidad in vivo.**

- Se determina en los animales.
- Se mide la cantidad de alimento consumido y el total de la excreción fecal.
- Se utilizan varios animales.

La técnica de digestibilidad in vivo es mostrada en las Figuras 2.1 y 2.2.



Figura 2.1 Técnica in vivo, ejemplo 1.



Figura 2.2 Técnica in vivo, ejemplo 2.

### 2.2.2 Digestibilidad in situ.

También se determina en los animales, se utilizan varios animales, pero esta técnica es más dañina para los animales ya que se tiene que hacer un agujero en el animal como se muestra en la Figura 2.3 para observar cuánto del alimento ingerido se está absorbiendo.



Figura 2.3 Técnica in situ

### 2.2.3 Digestibilidad in vitro.

Como ya se mencionó es la más utilizada en la actualidad ya que no se necesita estar al pendiente del animal todo el tiempo, basta con obtener fluido ruminal del animal donante y las demás pruebas serán en laboratorio como se muestra en la Figura 2.4, aunque esta técnica será explicada más adelante cuando se vea la producción de gas in vitro.



Figura 2.4 Técnica in vitro en [8], primera vez que se usaba.

## **2.3 Principio de funcionamiento de la cámara de fermentación**

La cámara de fermentación se compone de tres elementos principales, que son el sistema de campo magnético, sistema de adquisición de datos y sistema de control de temperatura, los cuales al trabajar en conjunto, nos llevan al funcionamiento perfecto de la cámara, estos elementos son descritos a continuación:

### **2.3.1 Sistema de campo magnético.**

Se denomina campo magnético a la región del espacio en la que se manifiesta la acción de un imán. Un campo magnético se representa mediante líneas de campo. Un imán atrae pequeños trozos de limadura de hierro, níquel y cobalto, o sustancias compuestas a partir de estos metales (ferromagnéticos). La imantación se transmite a distancia y por contacto directo. La región del espacio que rodea a un imán y en la que se manifiesta las fuerzas magnéticas se llama campo magnético [12]. Las líneas del campo magnético revelan la forma del campo. Las líneas de campo magnético emergen de un polo, rodean el imán y penetran por el otro polo, como se muestra en la Figura 2.5. Fuera del imán, el campo está dirigido del polo norte al polo sur. La intensidad del campo es mayor donde están más juntas las líneas (la intensidad es máxima en los polos).

El sistema de campo magnético por su parte se trata de unos motores de corriente directa a los cuales se les montan dos imanes a cada motor, y al conectar los motores a una fuente de DC hacen girar los motores y estos a su vez a los imanes, los imanes que giran debajo de los frascos, generan un campo magnético que simula, dentro del frasco, la contracción del rumen que sucede en el estómago de la vaca, hacen que suceda la producción de gas *in vitro*, técnica que será explicada más adelante, el sistema de campo electromagnético es mostrado en la Figura 2.6.



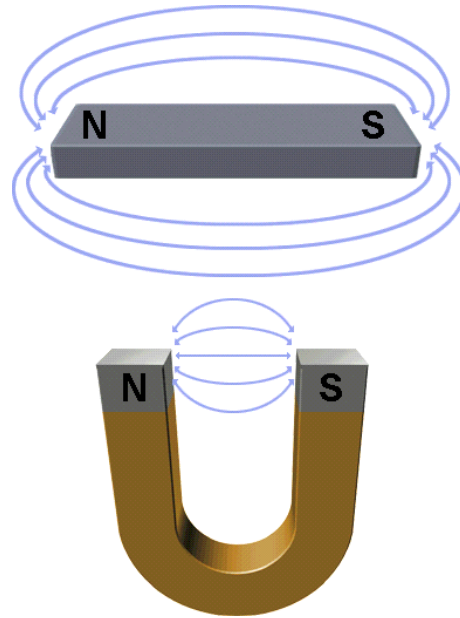


Figura 2.5 Líneas de campo magnético de un imán.



Figura 2.6 Imanes montados en los motores, mostrados dentro de la cámara.

### 2.3.2 Sistema de adquisición de datos.

Los sensores de presión o transductores de presión son elementos que transforman la magnitud física de presión o fuerza por unidad de superficie en otra magnitud eléctrica que será

la que emplearemos en los equipos de automatización o adquisición estándar. Los rangos de medida son muy amplios, desde unas milésimas de bar hasta los miles de bar.

Para cubrir los diferentes rangos de medida, precisión y protección, se cuenta con una gran variedad de transductores de presión, fabricados con diferentes tecnologías, que permiten cubrir las diferentes necesidades [11].

El sistema de adquisición de datos esta integrado por los sensores de presión mostrados en la Figura 2.7, los cuales van conectados a unas jeringas que irán dentro de los frascos, los sensores están conectados a un cable con tres puntas que representan las tres partes del sensor que serían: Tierra, Voltaje de entrada y Salida; la tierra y el voltaje de entrada van conectadas en común a la placa arduino mediante una placa proto-board, mientras que la salida de cada imán va conectado a un puerto de entrada analógico que será leído por arduino, el cuál es mostrado en la Figura 2.8, mediante un programa descrito en el Apéndice, mostrará los datos de cada uno de los sensores en la pantalla de la computadora.



Figura 2.7 Sensores de presión sin conectar dentro de la cámara.

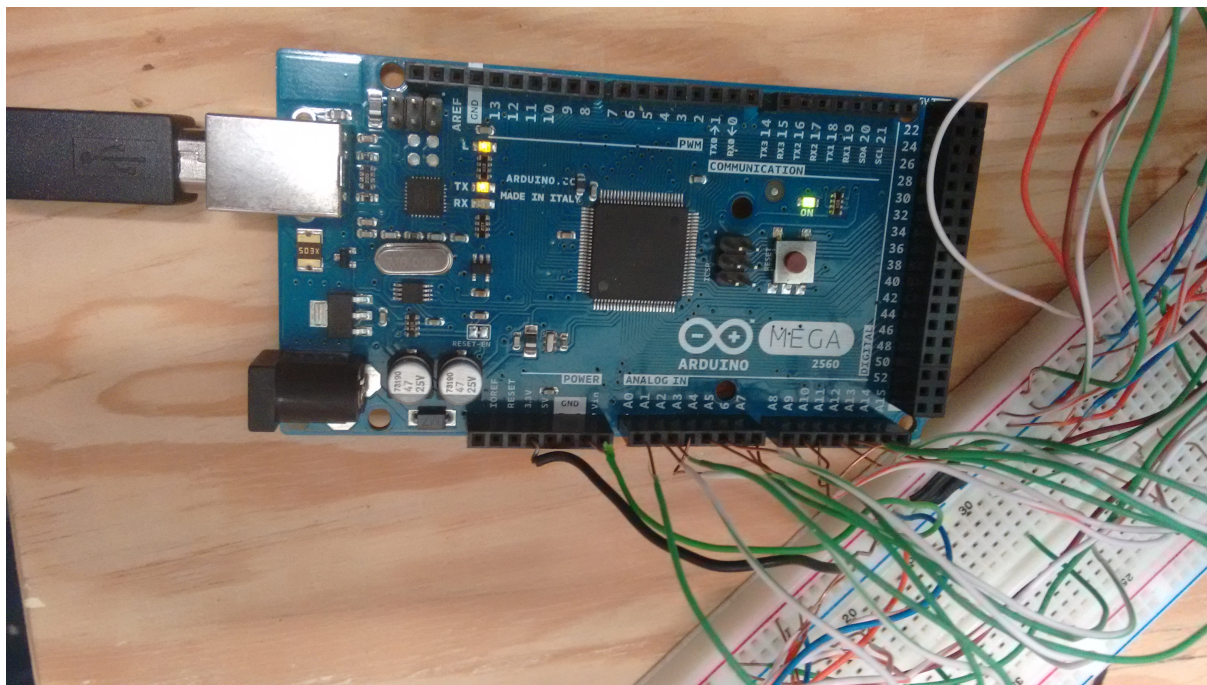


Figura 2.8 Tarjeta arduino Mega 2560, usada para la adquisición de datos de los sensores.

### 2.3.3 Sistema de control de temperatura.

Como ya se mencionó en la introducción, la cámara de fermentación necesita a estar a una temperatura de 39 Grados Centígrados que es la temperatura corporal promedio de los rumiantes, para esto es necesario agregar un sistema de control de temperatura, el cual nos ayudará a mantener la temperatura de la cámara a 39° C.

El sistema de control de temperatura para nuestro caso, se trata de la programación de una tarjeta arduino mostrada en la Figura 2.9, la cual va conectada a unos relevadores que activan dos focos de 100 W mostrados en la Figura 2.10, los cuales nos ayudarán a elevar la temperatura de la cámara ya que está se encuentra a la temperatura ambiente del laboratorio que es aproximadamente 20° C.

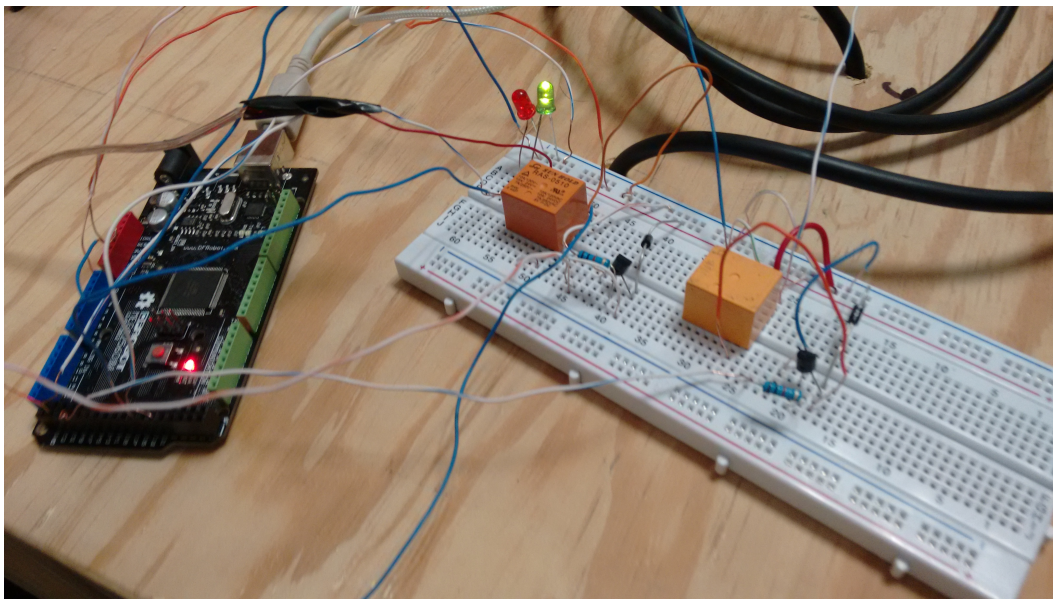


Figura 2.9 Tarjeta arduino Mega 2560, conectada a los relevadores que activarán los focos de 100 W.



Figura 2.10 Cámara de fermentación: se observan los focos de 100 W en la parte trasera de la cámara.

## 2.4 Producción de gas in vitro.

El método in vitro permite determinar la extensión y la cinética de degradación del alimento a través del gas producido durante el proceso fermentativo. Cuando se incuba un alimento con

líquido ruminal, primero es degradado y esa fracción degradada puede ser fermentada para producir gas y ácidos, o incorporada como masa microbiana. El gas es producido principalmente cuando el sustrato es fermentado hasta acetato y butirato.

La Figura 2.11, muestra la técnica de producción de gas in vitro, en la cual las jeringas son puestas en una caja controlada termostáticamente a 39° C.

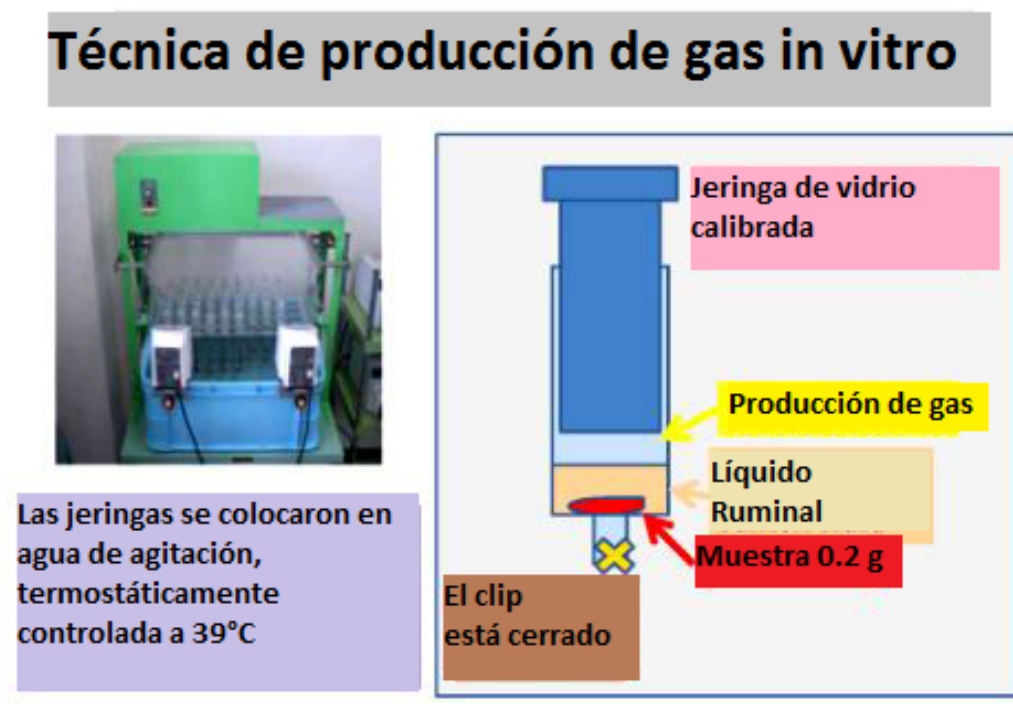


Figura 2.11 Técnica de producción de gas in vitro.

## Capítulo 3

# Armado de la cámara de fermentación anaeróbica y primeras pruebas.

### 3.1 Armado de la cámara.

Como se mencionó anteriormente, la cámara ya estaba empezada de anteriores tesis, por lo que ya se contaba con los siguientes componentes (mostrados en las Figuras 3.1, 3.2, 3.3 y 3.4).

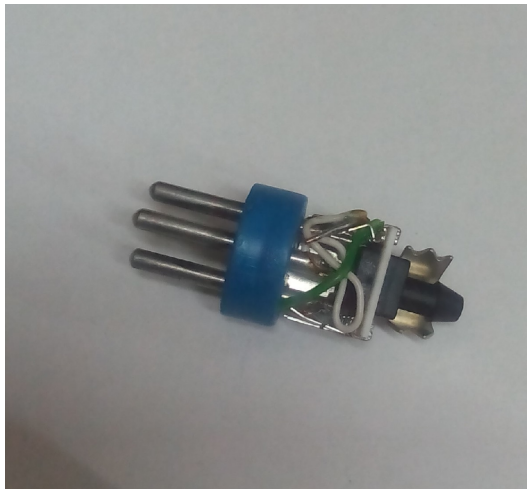


Figura 3.1 Sensor de presión sin conectar a la jeringa.

Ya que se tenían estos componentes se prosiguió al desarrollo de los sistemas de los que se compondría la cámara, al igual que otras partes importantes como la puerta de la cámara o el hacer los agujeros para los cables de los sensores, entre otras.

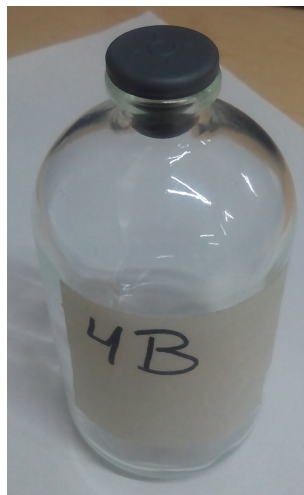


Figura 3.2 Frascos Wheaton.



Figura 3.3 Jeringas para los sensores de presión.



Figura 3.4 Cascaron de la cámara.

Se colocó la puerta como se muestra en la Figura 3.5, además se observa una ventana a la cual se le puso un vidrio para que no escapará el calor y se observará lo que pasaba dentro de la cámara.



Figura 3.5 Colocación de la puerta y perforación de la cámara.

La Figura 3.6, muestra el interior de la cámara sin sensores de presión ni la colocación de la base, solo con un foco de 100 W para checar la iluminación y pruebas para ver si se subía la temperatura de la cámara.

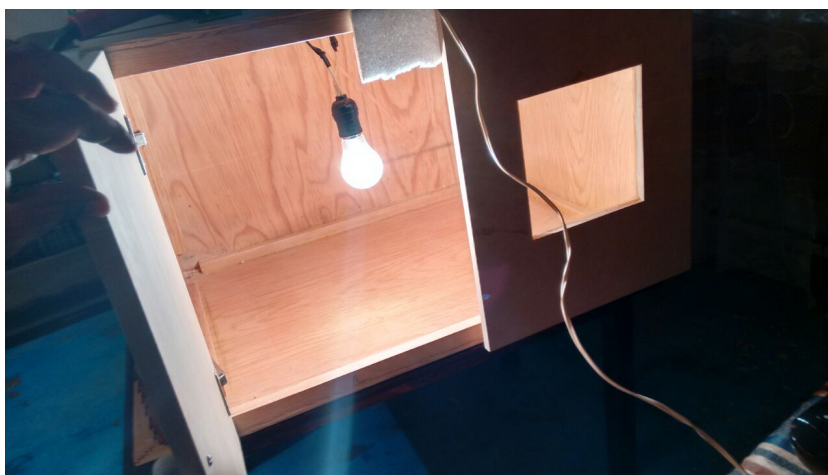


Figura 3.6 Interior de la cámara sin sensores ni base.



### 3.1.1 Desarrollo del sistema de campo magnético

Para el desarrollo del sistema de campo magnético se compraron 4 motores de DC de 6 V como el que se muestra en la Figura 3.7, también se compraron 8 imanes (dos por cada motor), con ayuda de un taladro, solera y tornillos, se estabilizaron los imanes en la solera para poder poner los imanes en los motores, se usaron varios métodos para poder unir los imanes al motor, se usó: silicon, la conocida kola-loka, pegamento industrial, soldadura tradicional, pero ninguno de estos funcionó, hasta que por último se probó la soldadura en frío mostrada en la Figura 3.8, para poder unir los imanes a los motores y funcionó muy bien.

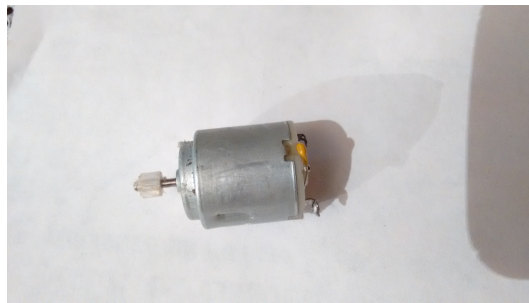


Figura 3.7 Motores de 6 V usados para hacer girar los imanes.



Figura 3.8 Soldadura en frío para unión de los imanes-motores.

Una vez que se pegaron los imanes a los motores, se mandó a hacer la base contenedora para los frascos Wheaton, y debajo de está, la base donde se pondrían los motores con los imanes, se hicieron las perforaciones necesarias y se pegaron los motores con silicon en la base ya perforada. El resultado de esto se muestra en la Figura 3.9.



Figura 3.9 Unión imanes-motores montados en su base, y contenedora para los frascos de prueba Wheaton.

Ya que se montaron los imanes en la base se hicieron pruebas para ver si no se desprendían los imanes, pues son un poco pesados, se metieron en principio 4 V y se fue aumentando el voltaje hasta llegar a 8 V, se dejaron un momento y los motores giraron a toda velocidad, pero se mantuvieron en su lugar.

Después de las pruebas de velocidad y mantenimiento, se colocó la base corrediza de los imanes en el interior de la cámara tal y como se muestra en la Figura 3.10.

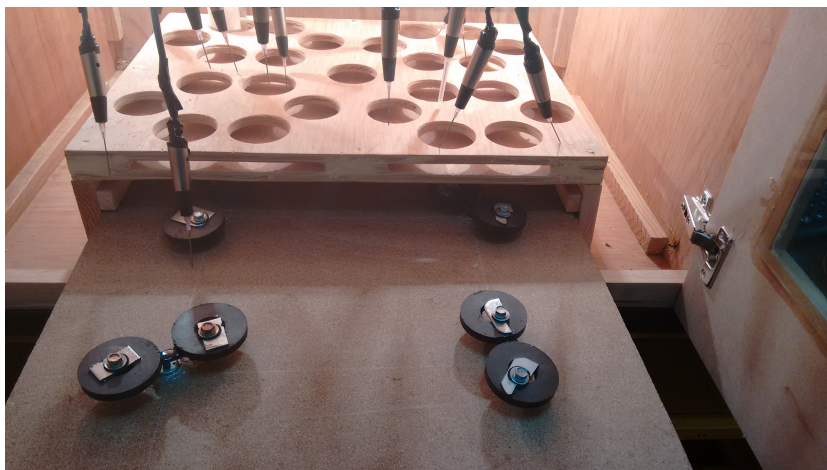


Figura 3.10 Interior de la cámara de fermentación con la base para los frascos Wheaton y los imanes.

### 3.1.2 Desarrollo del sistema de adquisición de datos.

Ya que se tenía completo el sistema de campo magnético, se continuó con el sistema de adquisición de datos, para la realización de este sistema, primero se hicieron las perforaciones correspondientes para cada uno de los cables de los sensores de presión. Después se conectaron las jeringas a los sensores de presión, las salidas de los sensores de presión se soldaron a los cables, usando el caudín, soldadora de estaño-plomo 60/40 y pasta de soldar mostradas en la Figura 3.11.



Figura 3.11 Cautín, soldadura y pasta usados para soldadura de sensores.

Después de haber soldado los sensores de presión a los cables, se hizo una comparativa de las diferentes tarjetas de adquisición, primero se optó por arduino al tener software libre no era necesario comprar licencias, después se compararon los diferentes tipos de tarjetas de arduino para saber cuál de ellas se adecuaba más a nuestras necesidades. Se buscaba una tarjeta que tuviera la mayor cantidad de entradas analógicas pues son las que se iban a utilizar para conectar a la salida de los sensores, y la tarjeta que se escogió fue la arduino MEGA 2560, que se muestra en la Figura 3.12, la cual para nuestras necesidades tiene 16 puertos de entrada analógica.

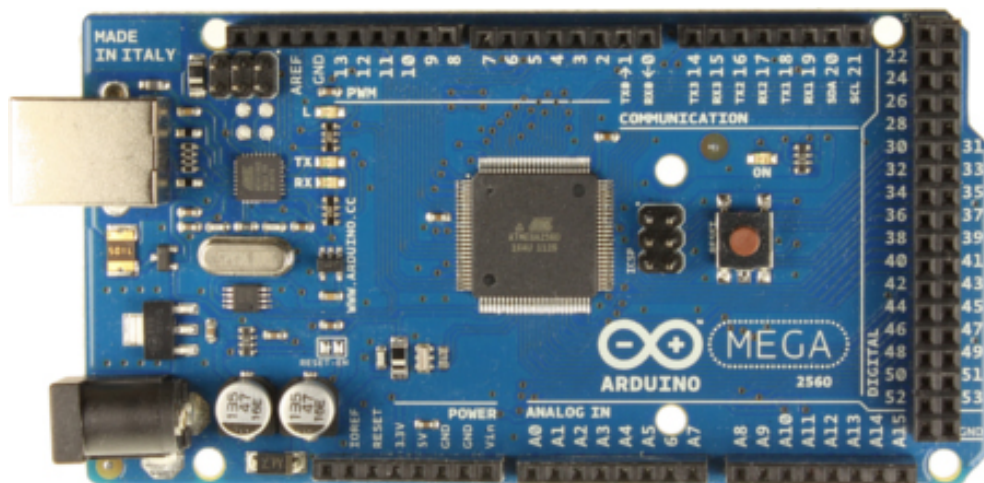


Figura 3.12 Tarjeta Arduino MEGA 2560, usada para el sistema de adquisición de datos.

Luego de haber seleccionado la tarjeta de arduino MEGA 2560 como nuestra tarjeta de adquisición de datos, se continuó con la programación de la misma. Se programó para que la tarjeta arduino fuera leyendo y mostrando en pantalla las mediciones de los sensores y se cambió la escala para que la diera de 0 a 5 V, además el intervalo de tiempo entre cada muestra se puede cambiar de 1, 2, 3,... seg., min., horas, según el tiempo que se requiera, el código programado en arduino para el sistema de adquisición de datos será agregado en el Apéndice; como ya se mencionó los sensores de presión tienen tres puertos: Voltaje de entrada o de alimentación, Tierra y Voltaje de salida, los cables del voltaje de entrada fueron comunes a los 3.3 V que nos da la tarjeta arduino, mientras que la tierra de cada uno de los sensores se conectó

común al puerto GND de la tarjeta Arduino. Para cada salida de los sensores se conectó un cable para usar cada uno de los 16 puertos de entrada analógica, tal como se muestra en la Figura 3.13, en la que se observan los cables de las entradas analógicas, además de las comunes de voltaje de entrada y tierra, conectadas al proto-board y que van conectadas al arduino mediante un cable.

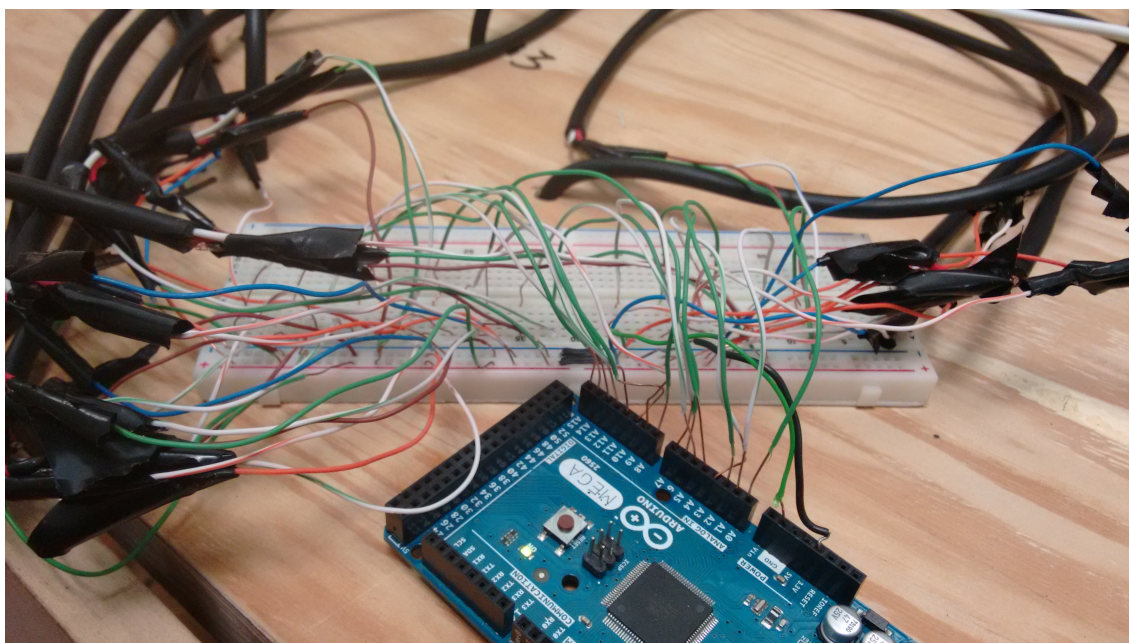


Figura 3.13 Conexión de la salida de los sensores de presión a la tarjeta arduino MEGA.

Se acomodaron los cables de los sensores de presión para que quedarán a una distancia considerable, para poder meter las agujas de las jeringas en los frascos Wheaton en un futuro, esto se observa en la Figura 3.14.

Y con esto, el sistema de adquisición de datos usando la Tarjeta Arduino MEGA 2560 quedó listo para trabajar.

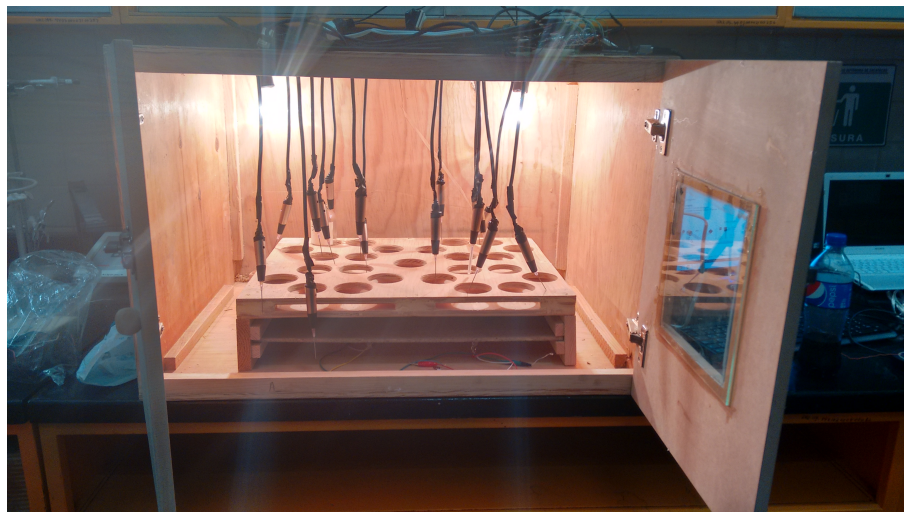


Figura 3.14 Sensores de presión listos para entrar en los frascos Wheaton.

### 3.1.3 Desarrollo del sistema de control de temperatura.

Teniendo listos los sistemas de campo magnético y de adquisición de datos, sólo quedaba el sistema de control de temperatura, que como ya se mencionó, se necesitaba que la cámara estuviera a una temperatura aproximada de 39 Grados Centígrados, para esto se propuso que la cámara estuviera en un rango de operación de 38.5 a 39.5 Grados Centígrados, como también se dijo, primero se hizo una prueba con un foco para ver si calentaba la cámara, está por supuesto cerrada, y fue así pero se notó que la temperatura de la cámara subía demasiado lento, además que hacía falta algo para la que la cámara quedará mejor cerrada, ya que con algún movimiento mal, está podría abrirse, es por eso que tuvo que comprarse y colocarse un pasador como el que se observa en la Figura 3.15, además se pusieron dos focos y se metió el cable del sensor de temperatura del multímetro digital, mostrado en la Figura 3.16, para poder observar la temperatura del interior de la cámara, con esto se vió que la temperatura subía un poco más rápido y que el pasador ayudaba mucho a que el calor no se saliera de la cámara.

Pero se necesitaba un control automático, pues los focos fueron encendidos de forma manual, y esto podría funcionar pero había un gran inconveniente, que la cámara debe de estar trabajando 48 horas, pues así funciona la técnica de producción de gas in vitro, en la cual la incubación en líquido ruminal en condiciones anaerobias tiene un período de 48 horas,



Figura 3.15 Pasador y cámara cerrada para no dejar escapar el calor generado por los focos.



Figura 3.16 Multímetro digital usado para checar la temperatura del interior de la caja.

en un medio tamponado (pH= 6.9) y a una temperatura de 39 Grados Centígrados (simula la fermentación ruminal). Así que no se iba a dejar a alguien para que estuviera prendiendo y apagando los focos cada vez que bajaba y subía la temperatura.

Para realizar el control de temperatura se optó por usar la misma tarjeta que para el sistema de adquisición de datos, la arduino MEGA 2560, ya que está tiene grandes beneficios, y aunque ahora sólo se usaría un puerto de entrada analógica que sería para el sensor de temperatura, el LM35, para nuestro caso, tendríamos que usar los puertos digitales como salida para activar el encendido de los focos, pero cómo encender un foco de 100 W que funcionan generalmente con 120 V con el pequeño voltaje de salida de la placa arduino que no llega ni a 5 V, para eso se hizo una investigación exhaustiva, además del uso de conocimientos de electrónica convencional. Se encontró en [14], un método para encender un foco con arduino, en el cual se necesitaba el uso de un transistor, un diodo, una resistencia y un relevador de 5 V.

Los componentes necesarios para nuestro control de temperatura quedan enlistados a continuación:

- Relé de 5 V (Para nuestro caso el RAS-0510 de la marca SUN HOLD, aunque puede ser cualquier otro).
- Transistor BC547 o similar.
- Resistencia de 10 KiloOhms.
- Diodo 1N4001 o similar.
- Sensor de temperatura LM35.

Además de los componentes de esta lista, se usó el caudín, con soldadura y pasta, cables para puentear, además de dos leds indicadores, uno para el encendido de los focos de la cámara y otro para cuando los focos estuvieran apagados.



Después de haber conseguido los diferentes componentes, se prosiguió con el armado del circuito, quedando como se muestra en la Figura 3.17.

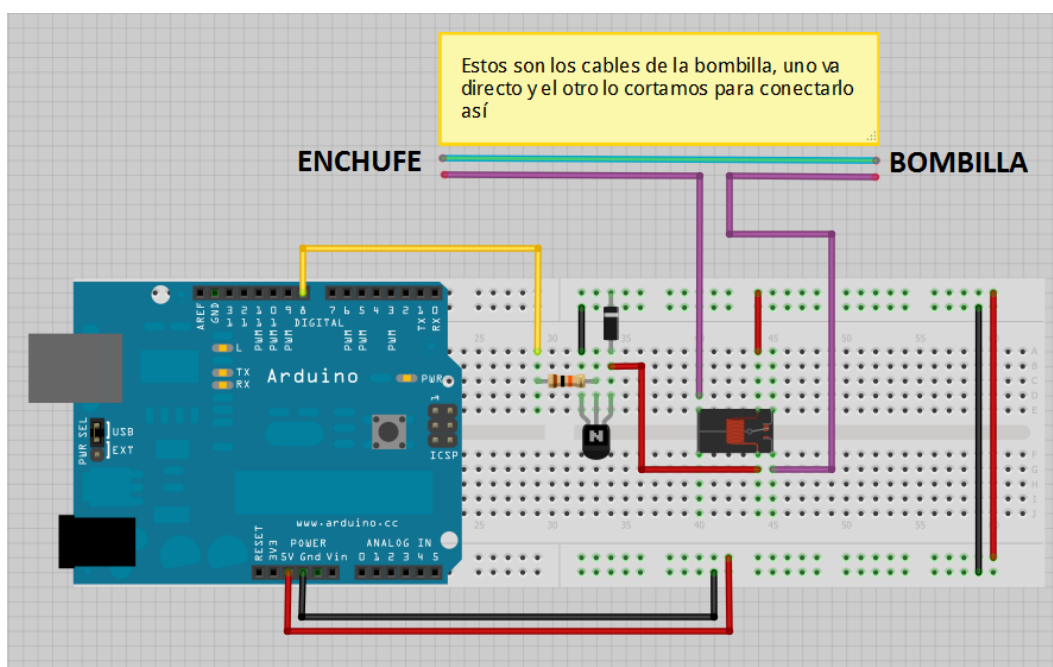


Figura 3.17 Esquema de conexión para un foco.

Cabe señalar que este esquema solo es para el encendido de un foco, además no se muestra el sensor de temperatura, aunque este debe de ir en el interior de la cámara y al igual que los sensores de presión, el sensor de temperatura LM35 tiene tres pines, uno es de voltaje de alimentación, la tierra y el último es de voltaje de salida, este pin debe ir conectado a la entrada analógica de la Tarjeta Arduino. Otro esquemático del circuito para el foco es mostrado en la Figura 3.18.

Las hojas de datos de los distintos componentes pueden ser vistas en la parte del Apéndice.

Ya que se tenía el circuito armado se probó sin conectar el sensor de temperatura, esto para ver realmente sí funcionaba o no el circuito, y este funcionó perfectamente, ahora sólo faltaba la programación, para esto se declararon los puertos de entrada del sensor de temperatura y los

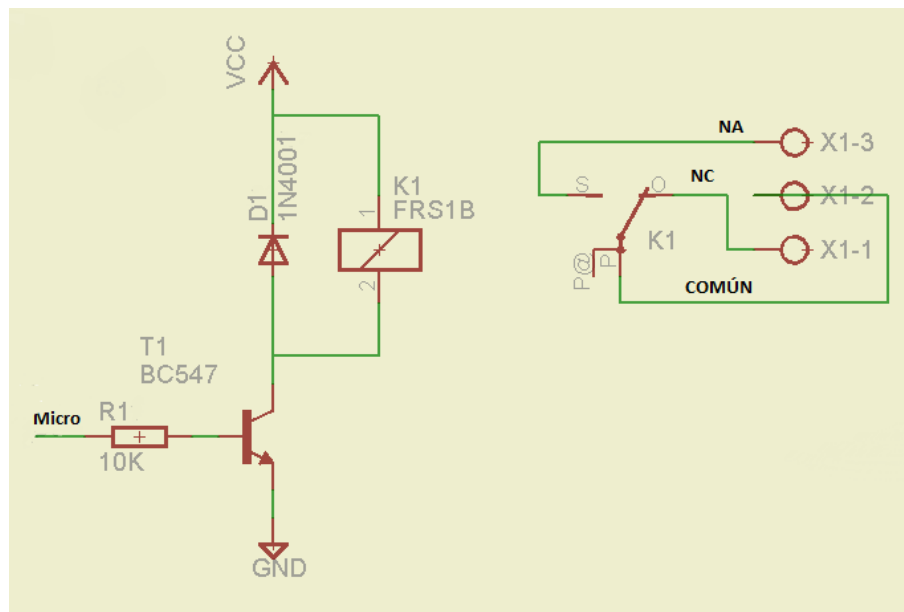


Figura 3.18 Esquemático de conexión para encender el foco con arduino.

de salida para los focos, además se usaron, como ya se dijo, dos leds indicadores. En nuestro programa primero se lee la señal del sensor, por supuesto, el sensor entrega voltaje así que este voltaje debe transformarse a temperatura (Grados Centígrados), una vez convertida la temperatura ahora si podemos indicarle que sí la temperatura es menor de la deseada encienda los focos al igual que el led indicador y sí pasa del valor deseado que apague los focos y el led indicador de encendido, pero que encienda el led indicador de que los focos estén apagados. Aunque esto puede verse de una mejor manera en el programa, que será incluido en el apéndice.

Como se dijo anteriormente los esquemas mostrados en las Figuras 3.17 y 3.18, son solamente para el encendido de un foco y como nosotros usamos dos focos, este circuito se repitió otra vez para el segundo foco, los circuitos reales que incluyen los relevadores, transistores, diodos, resistencias y leds indicadores son mostrados en la Figura 3.19.

La imagen de la Figura 3.19 fue tomada mientras el programa estaba corriendo, por lo que puede verse que el led verde estaba encendido, este led enciende cuando la temperatura es

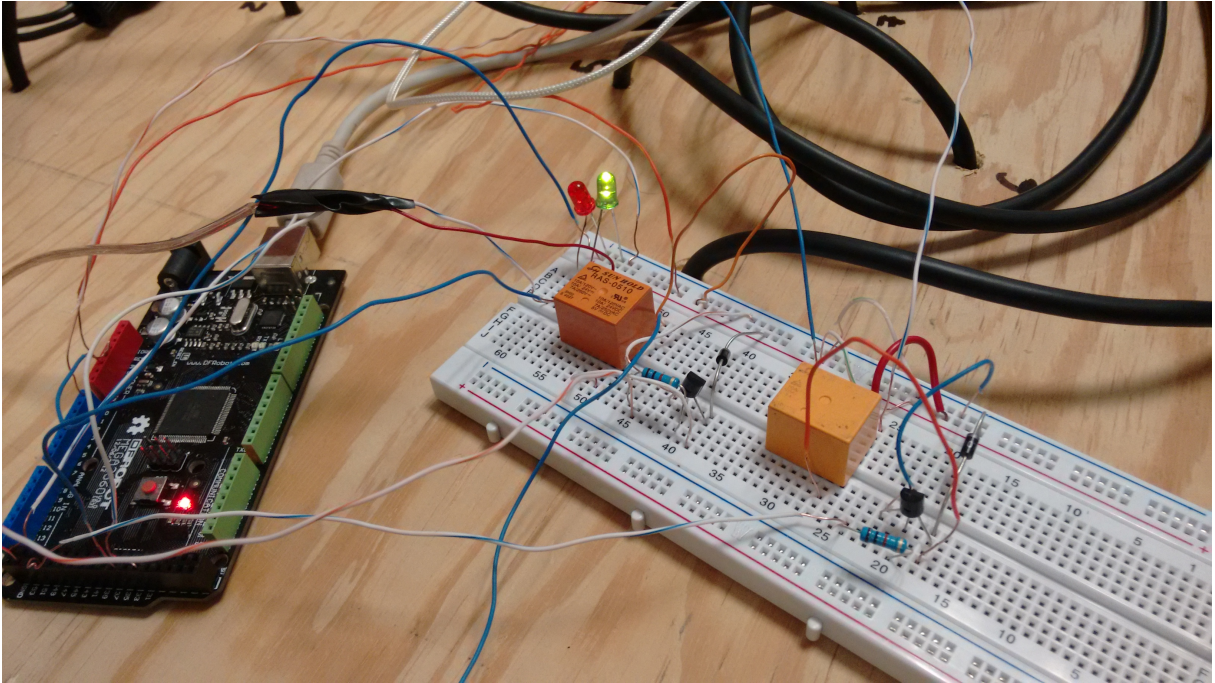


Figura 3.19 Circuito real para el encendido de los dos focos.

menor a la deseada, es decir cuando los focos están encendidos.

Ya que se tenía el circuito funcionando correctamente se hicieron pruebas con la cámara cerrada, para observar cómo se comportaba el programa, además en la pantalla de salida de arduino se puede visualizar la temperatura de la cámara, así que puede decirse que se tienen dos indicadores de temperatura: el multímetro digital y la pantalla de la computadora, también se hicieron pruebas conectando el puerto USB de la tarjeta arduino a un cargador de USB, para no tener que conectar el control de temperatura a la computadora, pues al tener dos tarjetas arduino conectadas a la PC una del sistema de adquisición de datos y otra del sistema de control de temperatura se podría llegar a dañar la PC o en su defecto dejar de funcionar correctamente.

La imagen de las pruebas de los focos con la cámara cerrada se muestran en la Figura 3.20.



Figura 3.20 Pruebas del control de temperatura con la cámara cerrada.

## 3.2 Pruebas iniciales

Ahora que se tenían los tres sistemas: campo magnético, adquisición de datos y control de temperatura, funcionando correctamente, sólo faltaba hacer pruebas con los tres sistemas trabajando al mismo tiempo, para esto se cerró la cámara, se pusieron a girar los imanes y se conectaron los puertos USB de las tarjetas arduino, la tarjeta de adquisición de datos se conectó a la PC, mientras que la tarjeta de control de temperatura lo hizo a la corriente alterna por medio del cargador USB, esto para no interferir con el sistema de adquisición de datos. La principal prueba fue dejar las jeringas desconectadas para ver si todos los sensores daban el mismo voltaje/presión, que sería en este caso, la presión ambiental.

La imagen de la prueba con todos los sistemas se muestra en la Figura 3.21.



Figura 3.21 Prueba con los tres sistemas funcionando.



Se puede ver en la Tabla 3.1 que los resultados de las mediciones de los sensores de presión son muy parecidos, pues se está tomando la misma presión que sería la presión del ambiente.

Después de haber obtenido los datos se usó la herramienta para graficar de excel, para observar mejor el comportamiento de los sensores en un gráfico, que se puede ver en la Figura 3.22.

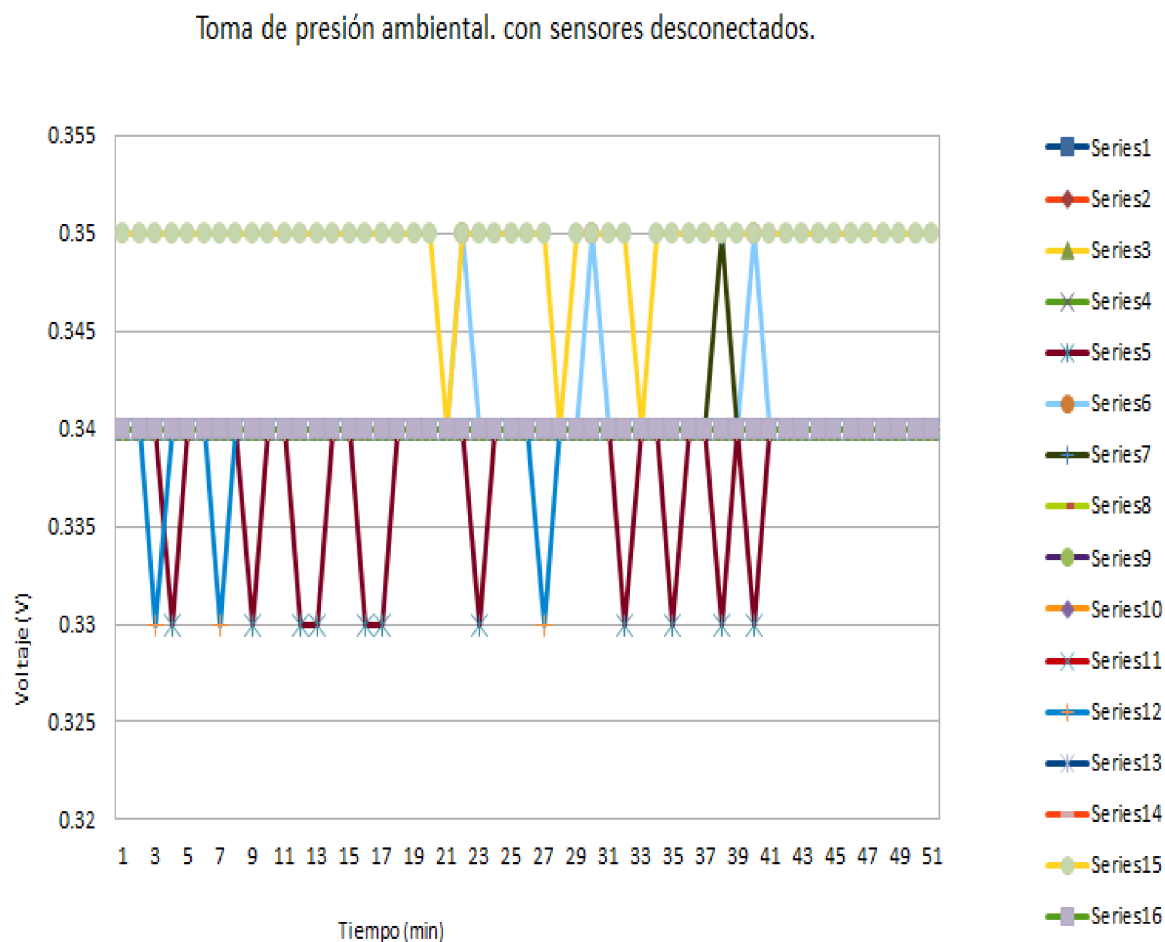


Figura 3.22 Gráfica de los sensores de presión para la prueba de los tres sistemas.

Se puede observar en la Figura 3.22 que las líneas de los 16 sensores de presión no se distinguen muy bien una de otra, esto se debe, a que como los resultados son muy parecidos, pues están midiendo lo mismo, no hay mucha diferencia entre ellos; si vemos la gráfica hay una diferencia de 2 centésimas, entre el valor más bajo y el más alto, que es prácticamente insignificante, tal vez por un poco de ruido o por cambio de presión dentro de la misma cámara entre un sensor y otro.



## Capítulo 4

# Resultados

Si comparamos lo reportado en [1] en cuanto al costo de la cámara de fermentación que sobrepasaba los 100 mil pesos, con lo gastado para realizar la cámara de fermentación para nuestra Universidad, que fue un aproximado de 30 mil pesos, vemos que el ahorro es sustancial de al menos 70 mil pesos, es decir, la cámara de fermentación que se construyó costó 70 % menos que la realizada hace más de 10 años. Y si se supiera el costo de una de las cámaras que se tienen en la Universidad de Texas A&M, al menos el ahorro sería de 100 mil pesos, ya que las nuevas cámaras tienen demasiados componentes como el divisor de voltaje y la tarjeta convertidora analógico-digital, pues la función que realizan estos componentes es la misma que realiza la tarjeta arduino en nuestro sistema, aunque también hay que mencionar que los costos de los componentes en Estados Unidos es mucho mayor a lo que costarían en México, aunque la diferencia entre las dos cámaras es abismal, se podría decir que con el dinero que utilizan para construir una cámara en Estados Unidos se podrían desarrollar al menos tres cámaras en México.

Los resultados son los esperados, ya que se pudo contruir una cámara de bajo costo, y en cuanto a usar la técnica de producción de gas in vitro, es mejor para los animales ya que no experimentamos con ellos sino lo hacemos en laboratorio.

## Conclusiones

El desarrollo de este proyecto de tesis fue muy interesante, ya que antes de realizar este proyecto no se tenía noción de los diferentes campos en los que se puede aplicar la electrónica, como lo son: ganadería, agricultura, minería, deportes, rescate, medicina, entre otros. Pero sobre todo al haber construido nuestra propia cámara de fermentación, podemos concluir que fue una tesis o proyecto diferente a los demás, debido a que se desarrolló un objeto que se seguirá utilizando en un futuro y que se necesitará actualizar constantemente, puesto que es tecnología y está va avanzando cada día.

También se puede concluir que creamos algo que estará en un laboratorio de la Unidad Académica de Medicina Veterinaria y Zootecnia de nuestra Universidad Autónoma de Zacatecas y que utilizarán alumnos, docentes, investigadores o cualquier persona que requiera probar alimentos para animales, día con día. Y que en un futuro se podrán construir más cámaras para más muestras y porque no poder superar la tecnología estadounidense.

## Apéndice

### Programas en arduino y Hojas de Datos.

#### A.1 Programa en arduino para el sistema de adquisición de datos.

```
int n=0;
void setup(){
  Serial.begin(9600);
}

void loop() {
  float m= analogRead(A0);
  float m1= analogRead(A1);
  float m2= analogRead(A2);
  float m3= analogRead(A3);
  float m4= analogRead(A4);
  float m5= analogRead(A5);
  float m6= analogRead(A6);
  float m7= analogRead(A7);
  float m8= analogRead(A8);
  float m9= analogRead(A9);
  float m10= analogRead(A10);
  float m11= analogRead(A11);
  float m12= analogRead(A12);
  float m13= analogRead(A13);
  float m14= analogRead(A14);
  float m15= analogRead(A15);
  float volt=m*5/1024;
  float volt1=m1*5/1024;
  float volt2=m2*5/1024;
  float volt3=m3*5/1024;
  float volt4=m4*5/1024;
  float volt5=m5*5/1024;
  float volt6=m6*5/1024;
  float volt7=m7*5/1024;
  float volt8=m8*5/1024;
  float volt9=m9*5/1024;
```

```

float volt10=m10*5/1024;
float volt11=m11*5/1024;
float volt12=m12*5/1024;
float volt13=m13*5/1024;
float volt14=m14*5/1024;
float volt15=m15*5/1024;
if(n==0){
  Serial.print("A0");Serial.print(" ");Serial.print("A1");Serial.print(" ");
  Serial.print("A2");Serial.print("");Serial.print("A3");Serial.print(" ");
  Serial.print("A4");Serial.print(" ");Serial.print("A5");Serial.print(" ");
  Serial.print("A6");Serial.print(" ");Serial.print("A7");Serial.print(" ");
  Serial.print("A8");Serial.print(" ");Serial.print("A9");Serial.print(" ");
  Serial.print("A10");Serial.print(" ");Serial.print("A11");Serial.print(" ");
  Serial.print("A12");Serial.print(" ");Serial.print("A13");Serial.print(" ");
  Serial.print("A14");Serial.print(" ");Serial.println("A15");
  Serial.print(volt);Serial.print(" ");Serial.print(volt1);Serial.print(" ");
  Serial.print(volt2);Serial.print(" ");Serial.print(volt3);Serial.print(" ");
  Serial.print(volt4);Serial.print(" ");Serial.print(volt5);Serial.print(" ");
  Serial.print(volt6);Serial.print(" ");Serial.print(volt7);Serial.print(" ");
  Serial.print(volt8);Serial.print(" ");Serial.print(volt9);Serial.print(" ");
  Serial.print(volt10);Serial.print(" ");Serial.print(volt11);Serial.print(" ");
  Serial.print(volt12);Serial.print(" ");Serial.print(volt13);Serial.print(" ");
  Serial.print(volt14);Serial.print(" ");Serial.println(volt15);
  n=n+1;
}
else{
  Serial.print(volt);Serial.print(" ");Serial.print(volt1);Serial.print(" ");
  Serial.print(volt2);Serial.print(" ");Serial.print(volt3);Serial.print(" ");
  Serial.print(volt4);Serial.print(" ");Serial.print(volt5);Serial.print(" ");
  Serial.print(volt6);Serial.print(" ");Serial.print(volt7);Serial.print(" ");
  Serial.print(volt8);Serial.print(" ");Serial.print(volt9);Serial.print(" ");
  Serial.print(volt10);Serial.print(" ");Serial.print(volt11);Serial.print(" ");
  Serial.print(volt12);Serial.print(" ");Serial.print(volt13);Serial.print(" ");
  Serial.print(volt14);Serial.print(" ");Serial.println(volt15);
}
delay(10000);
}

```

## A.2 Programa en arduino para el sistema de control de temperatura.

```
float temperatura = 0; //variable para la temperatura
int motor1 = 53; //pin digital donde conectar el foco
int led1=35;
int led2=31;
int motor2=49;

void setup(){

  Serial.begin (9600); //inicia comunicacion serial

  pinMode (motor1,OUTPUT);
  pinMode (motor2,OUTPUT);
  pinMode (led1,OUTPUT);
  pinMode (led2,OUTPUT);

}

void loop(){

  temperatura = analogRead(A0);
  temperatura = (5.0 * temperatura * 100.0)/1024.0;

  Serial.println (temperatura); //escribe la temperatura en el serial

  //si la temperatura esta debajo de 38.5 el led verde y los focos encienden
  if (temperatura < 38.5){ // Led 1 ON/OFF y motor (foco) On
    digitalWrite (led1,HIGH);
    delay(500);
    digitalWrite (led1,LOW);
    delay(500);

    digitalWrite (motor1,HIGH); // el motor queda prendido
    digitalWrite (motor2,HIGH);

  }

}
```

```
if (temperatura > 39.5){ //Led 2 ON/OFF FOCO OFF
  digitalWrite (led2,HIGH);
  delay(500);
  digitalWrite (led2,LOW);
  delay(500);
  digitalWrite (motor1,LOW); // los focos quedan apagados
  digitalWrite (motor2,LOW);

}
}
```

### **A.3 Hojas de datos de los componentes electrónicos utilizados.**

- Sensor de presión.
- Sensor de temperatura LM35.
- Tarjeta Arduino MEGA2560.
- Transistor BC547
- Diodo 1N4001.
- Relevador 5 V.

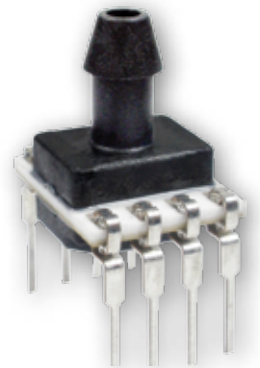


## TruStability<sup>®</sup> Board Mount Pressure Sensors

**HSC Series—High Accuracy, Compensated/Amplified**

±1.6 mbar to ±10 bar | ±160 Pa to ±1 MPa | ±0.5 inH<sub>2</sub>O to ±150 psi

Digital or Analog Output





# TruStability® Board Mount Pressure Sensors

The TruStability® High Accuracy Silicon Ceramic (HSC) Series is a piezoresistive silicon pressure sensor offering a ratiometric analog or digital output for reading pressure over the specified full scale pressure span and temperature range.

The HSC Series is fully calibrated and temperature compensated for sensor offset, sensitivity, temperature effects, and non-linearity using an on-board Application Specific Integrated Circuit (ASIC). Calibrated output values for pressure are updated at approximately 1 kHz for analog and 2 kHz for digital.

The HSC Series is calibrated over the temperature range of 0 °C to 50 °C [32 °F to 122 °F]. The sensor is characterized for operation from a single power supply of either 3.3 Vdc or 5.0 Vdc.

These sensors measure absolute, gage, or differential pressures. The absolute versions have an internal vacuum reference and an output value proportional to absolute pressure. Gage versions are referenced to atmospheric pressure and provide an output proportional to pressure variations from atmosphere. Differential versions allow measurement of pressure between the two pressure ports.

The TruStability® pressure sensors are intended for use with non-corrosive, non-ionic gases, such as air and other dry gases. Available options extend the performance of these sensors to non-corrosive, non-ionic liquids for pressure ranges above 40 mbar | 4 kPa | 20 inH<sub>2</sub>O.

All products are designed and manufactured according to ISO 9001 standards.

## Table of Contents

Features and Benefits . . . . .	3-5
Potential Applications . . . . .	6
General Specifications . . . . .	7-8
Analog Operating Specifications . . . . .	9
Digital Operating Specifications . . . . .	10
Transfer Function Limits . . . . .	11
Total Error Band Values . . . . .	12
Nomenclature and Order Guide . . . . .	13
Pressure Range Specifications	
±1.6 mbar to ±10 bar . . . . .	14
±160 Pa to ±1 MPa . . . . .	15
±0.5 inH <sub>2</sub> O to ±150 psi . . . . .	16
Available Standard Configurations . . . . .	17-18
Dimensional Drawings	
DIP Packages . . . . .	19-21
SMT Packages . . . . .	21-24
SIP Packages . . . . .	24-29
Pinouts, PCB Layouts . . . . .	30
TruStability® Board Mount Pressure Sensors	
Portfolio Overview . . . . .	31
Additional Information . . . . .	32

## What makes our sensors better?

- Stability and reliability
- Industry-leading accuracy of ±0.25 %FSS BFSL
- Port and housing options simplify integration
- Wide pressure range, from ±1.6 mbar to ±10 bar | ±160 Pa to ±1 MPa | ±0.5 inH<sub>2</sub>O to ±150 psi
- Small package size
- Extremely low power consumption

STABILITY • ACCURACY • FLEXIBILITY • SMALL SIZE

# Features and Benefits

## PROPRIETARY HONEYWELL TECHNOLOGY

Combines high sensitivity with high overpressure and burst pressure while providing industry leading stability—performance factors that are difficult to achieve in the same product; this gives the customer more flexibility in sensor implementation and reduces the customer design requirements for protecting the sensor without sacrificing the ability to sense very small changes in pressure.

## PROTECTED BY MULTIPLE GLOBAL PATENTS

## INDUSTRY-LEADING LONG-TERM STABILITY

Even after long-term use and thermal extremes, the sensor’s stability remains best in class:

- Minimizes system calibration needs.
- Improves system performance.
- Helps support system uptime by minimizing the need to service or replace the sensor during its application life.

## TOTAL ERROR BAND (TEB)

Honeywell specifies TEB—the most comprehensive, clear, and meaningful measurement—that provides the sensor’s true performance over a compensated range of 0 °C to 50 °C [32 °F to 122 °F] (see Figure 1):

- Minimizes individually testing and calibrating every sensor, decreasing manufacturing time and process costs.
- Improves system accuracy.
- Provides enhanced sensor interchangeability—there is minimal part-to-part variation in accuracy.

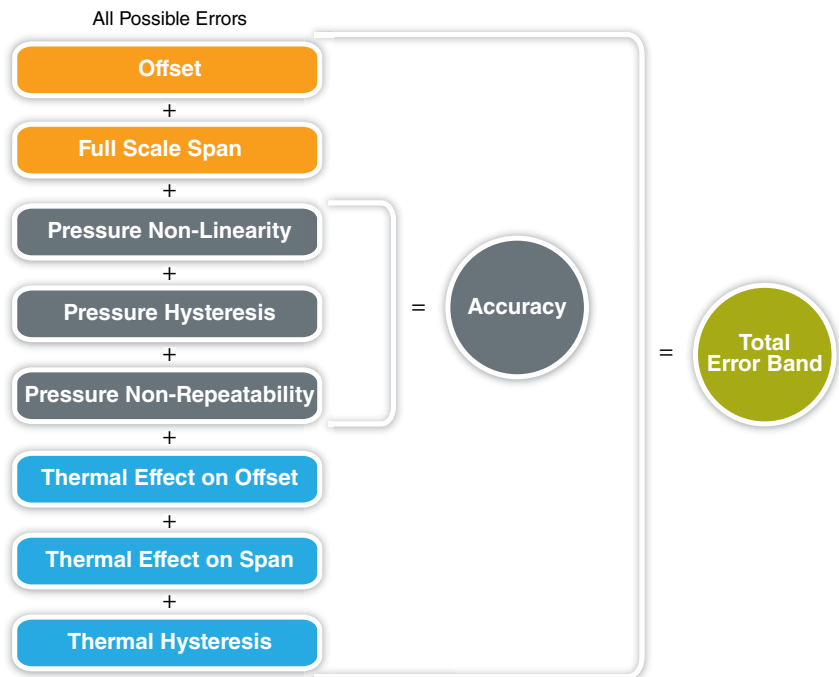


Figure 1. TEB Components for TruStability® Board Mount Pressure Sensors

# Features and Benefits

## **INDUSTRY-LEADING ACCURACY**

Extremely tight accuracy of  $\pm 0.25$  %FSS BFSL (Full Scale Span Best Fit Straight Line) reduces software needed to correct system inaccuracies, minimizing system design time:

- Avoids additional customer calibration.
- Helps to improve system efficiency.
- Often simplifies software development.

## **HIGH BURST PRESSURES**

- Promotes system reliability and reduces potential system downtime.
- Can simplify the design process.

## **HIGH WORKING PRESSURE RANGES**

Allows ultra-low pressure sensors to be used continuously well above the calibrated pressure range.

## **INDUSTRY-LEADING FLEXIBILITY**

Modular, flexible design with many package styles (with the same industry-leading stability), pressure ports, and options simplify integration into the device manufacturer's application.

## **WIDE VARIETY OF PRESSURE RANGES**

From  $\pm 1.6$  mbar to  $\pm 10$  bar |  $\pm 160$  Pa to  $\pm 1$  MPa |  $\pm 0.5$  inH<sub>2</sub>O to 150 psi provide support for many unique applications.

## **MEETS IPC/JEDEC J-STD-020D.1 MOISTURE SENSITIVITY LEVEL 1 REQUIREMENTS**

- Allows the customer to avoid the thermal and mechanical damage during solder reflow attachment and/or repair that lesser rated products would incur.
- Allows unlimited floor life when stored as specified ( $\leq 30$  °C/85 %RH), simplifying storage and reducing scrap.
- Never requires lengthy bakes prior to reflow.
- Stable and usable shortly after reflow process allows for lean manufacturing.

## **OPTIONAL INTERNAL DIAGNOSTIC FUNCTIONS**

- May reduce the need for redundant sensors in the system.
- Detects most internal failures including burst sensors.

## **ENERGY EFFICIENT**

Extremely low power consumption (less than 10 mW, typ.):

- Reduces system power requirements.
- Enables extended battery life.
- Optional sleep mode available upon special request.

# Features and Benefits

## **OUTPUT: RATIOMETRIC ANALOG; I<sup>2</sup>C- OR SPI-COMPATIBLE 14-BIT DIGITAL OUTPUT (MIN. 12-BIT SENSOR RESOLUTION)**

Accelerates performance through reduced conversion requirements and the convenience of direct interface to microprocessors.

## **SMALL SIZE**

Miniature 10 mm x 10 mm [0.39 in x 0.39 in] package is very small when compared to many board mount pressure sensors:

- Occupies less area on the PCB.
- Typically allows for easy placement on crowded PCBs or in small devices.

## **REACH AND ROHS COMPLIANT**

## **LIQUID MEDIA OPTION**

- Provides robustness in environments with condensing humidity.
- Compatible with a variety of non-ionic fluids.
- Available for pressure ranges above 40 mbar | 4 kPa | 20 inH<sub>2</sub>O.

# Potential Applications



## MEDICAL

---

- AIRFLOW MONITORS
- ANESTHESIA MACHINES
- BLOOD ANALYSIS MACHINES
- GAS CHROMATOGRAPHY
- GAS FLOW INSTRUMENTATION
- KIDNEY DIALYSIS MACHINES
- OXYGEN CONCENTRATORS
- PNEUMATIC CONTROLS
- RESPIRATORY MACHINES
- SLEEP APNEA EQUIPMENT
- VENTILATORS
- SPIROMETERS
- NEBULIZERS
- HOSPITAL ROOM AIR PRESSURE



## INDUSTRIAL

---

- BAROMETRY
- FLOW CALIBRATORS
- GAS CHROMATOGRAPHY
- GAS FLOW INSTRUMENTATION
- HVAC
- LIFE SCIENCES
- PNEUMATIC CONTROL
- VAV (VARIABLE AIR VOLUME) CONTROL
- CLOGGED HVAC FILTER DETECTION
- HVAC TRANSMITTERS
- INDOOR AIR QUALITY



# General Specifications

**Table 1. Absolute Maximum Ratings<sup>1</sup>**

Characteristic	Min.	Max.	Unit
Supply voltage ( $V_{\text{supply}}$ )	-0.3	6.0	Vdc
Voltage on any pin	-0.3	$V_{\text{supply}} + 0.3$	V
Digital interface clock frequency:			
I <sup>2</sup> C	100	400	kHz
SPI	50	800	
ESD susceptibility (human body model)	3	—	kV
Storage temperature	-40 [-40]	85 [185]	°C [°F]
Soldering time and temperature: lead solder temperature (SIP, DIP) peak reflow temperature (SMT)		4 s max. at 250 °C [482 °F] 15 s max. at 250 °C [482 °F]	

<sup>1</sup>Absolute maximum ratings are the extreme limits the device will withstand without damage.

**Table 2. Environmental Specifications**

Characteristic	Parameter
Humidity: gases only (See “Options N and D” in Figure 4.) liquid media (See “Options T and V” in Figure 4.)	0% to 95% RH, non-condensing 100% condensing or direct liquid media on Port 1
Vibration	MIL-STD-202G, Method 204D, Condition B (15 g, 10 Hz to 2 Hz)
Shock	MIL-STD-202G, Method 213B, Condition C (100 g, 6 ms duration)
Life <sup>1</sup>	1 million pressure cycles minimum
Solder reflow	J-STD-020-D.1 Moisture Sensitivity Level 1 (unlimited shelf life when stored at $\leq 30$ °C/85 % RH)

<sup>1</sup>Life may vary depending on specific application in which the sensor is utilized.

# General Specifications

**Table 3. Wetted Materials<sup>1</sup>**

Component	Port 1 (Pressure Port)	Port 2 (Reference Port)
Ports and covers	high temperature polyamide	high temperature polyamide
Substrate	alumina ceramic	alumina ceramic
Adhesives	epoxy, silicone	epoxy, silicone
Electronic components	ceramic, silicon, glass, solder	silicon, glass, gold

<sup>1</sup>Contact Honeywell Customer Service for detailed material information.

## CAUTION

### PRODUCT DAMAGE FOR SENSORS WITH LIQUID MEDIA OPTION (ONLY AVAILABLE 60 MBAR | 6 KPA | 1 PSI AND ABOVE)

- Ensure liquid media is applied to Port 1 only; Port 2 is not compatible with liquids.
- Ensure liquid media contains no particulates. All TruStability® sensors are dead-ended devices. Particulates can accumulate inside the sensor, causing damage or affecting sensor output.
- Recommend that the sensor be positioned with Port 1 facing downwards; any particulates in the system are less likely to enter and settle within the pressure sensor if it is in this position.
- Ensure liquid media does not create a residue when dried; build-up inside the sensor may affect sensor output. Rinsing of a dead-ended sensor is difficult and has limited effectiveness for removing residue.
- Ensure liquid media are compatible with wetted materials. Non-compatible liquid media will degrade sensor performance and may lead to sensor failure.

**Failure to comply with these instructions may result in product damage.**

**Table 4. Sensor Pressure Types**

Pressure Type	Description
Absolute	Output is proportional to the difference between applied pressure and a built-in vacuum reference.
Differential	Output is proportional to the difference between the pressures applied to each port (Port 1 – Port 2).
Gage	Output is proportional to the difference between applied pressure and atmospheric (ambient) pressure.

# Analog Operating Specifications

**Table 5. Analog Operating Specifications**

Characteristic	Min.	Typ.	Max.	Unit
Supply voltage ( $V_{\text{supply}}$ ): <sup>1, 2, 3</sup> pressure ranges $\geq 60$ mbar   6 kPa   1 psi: 3.3 Vdc 5.0 Vdc pressure ranges $\leq 40$ mbar   4 kPa   20 inH <sub>2</sub> O: 3.3 Vdc 5.0 Vdc	3.0 4.75 3.27 4.95	3.3 5.0 3.3 5.0	3.6 5.25 3.33 5.05	Vdc
Supply current: 3.3 Vdc 5.0 Vdc	— —	2.1 2.7	2.8 3.5	mA
Operating temperature range <sup>4</sup>	-20 [-4]	—	85 [185]	°C [°F]
Compensated temperature range <sup>5</sup>	0 [-32]	—	50 [122]	°C [°F]
Startup time (power up to data ready)	—	—	5	ms
Response time	—	1	—	ms
Clipping limit: upper lower	— 2.5	— —	97.5 —	%Vsupply
Accuracy <sup>6</sup>	—	—	$\pm 0.25$	%FSS BFSL <sup>8</sup>
Output resolution	0.03	—	—	%FSS
Orientation sensitivity ( $\pm 1$ g): <sup>7, 9</sup> pressure ranges $\leq 40$ mbar   4 kPa   20 inH <sub>2</sub> O pressure ranges $\leq 2.5$ mbar   250 Pa   1 inH <sub>2</sub> O	— —	$\pm 0.1$ $\pm 0.2$	— —	%FSS <sup>9</sup>

<sup>1</sup>Sensors are either 3.3 Vdc or 5.0 Vdc based on the catalog listing selected.

<sup>2</sup>Ratiometricity of the sensor (the ability of the device output to scale to the supply voltage) is achieved within the specified operating voltage.

<sup>3</sup>The sensor is not reverse polarity protected. Incorrect application of supply voltage or ground to the wrong pin may cause electrical failure.

<sup>4</sup>Operating temperature range: The temperature range over which the sensor will produce an output proportional to pressure.

<sup>5</sup>Compensated temperature range: The temperature range over which the sensor will produce an output proportional to pressure within the specified performance limits.

<sup>6</sup>Accuracy: The maximum deviation in output from a Best Fit Straight Line (BFSL) fitted to the output measured over the pressure range at 25 °C [77 °F]. Includes all errors due to pressure non-linearity, pressure hysteresis, and non-repeatability.

<sup>7</sup>Orientation sensitivity: The maximum change in offset of the sensor due to a change in position or orientation relative to Earth's gravitational field.

<sup>8</sup>Full Scale Span (FSS): The algebraic difference between the output signal measured at the maximum (Pmax.) and minimum (Pmin.) limits of the pressure range. (See Figure 4 for ranges.)

<sup>9</sup>Insignificant for pressure ranges above 40 mbar | 4 kPa | 20 inH<sub>2</sub>O.



# Digital Operating Specifications

**Table 6. Digital Operating Specifications**

Characteristic	Min.	Typ.	Max.	Unit
Supply voltage ( $V_{\text{supply}}$ ): <sup>1, 2, 3</sup> pressure ranges $\geq 60$ mbar   6 kPa   1 psi: 3.3 Vdc 5.0 Vdc pressure ranges $\leq 40$ mbar   4 kPa   20 inH <sub>2</sub> O: 3.3 Vdc 5.0 Vdc	3.0 4.75 3.27 4.95	3.3 5.0 3.3 5.0	3.6 5.25 3.33 5.05	Vdc
Supply current: 3.3 Vdc 5.0 Vdc	— —	3.1 3.7	3.9 4.6	mA
Operating temperature range <sup>4</sup>	-20 [-4]	—	85 [185]	°C [°F]
Compensated temperature range <sup>5</sup>	0 [-32]	—	50 [122]	°C [°F]
Startup time (power up to data ready)	—	—	3	ms
Response time	—	0.46	—	ms
SPI/I <sup>2</sup> C voltage level: low high	— 80	— —	20 —	%Vsupply
Pull up on SDA/MISO, SCL/SCLK, SS	1	—	—	kOhm
Accuracy <sup>6</sup>	—	—	$\pm 0.25$	%FSS BFSL <sup>8</sup>
Output resolution	12	—	—	bits
Orientation sensitivity ( $\pm 1$ g): <sup>7, 9</sup> pressure ranges $\leq 40$ mbar   4 kPa   20 inH <sub>2</sub> O pressure ranges $\leq 2.5$ mbar   250 Pa   1 inH <sub>2</sub> O	— —	$\pm 0.1$ $\pm 0.2$	— —	%FSS <sup>8</sup>

<sup>1</sup>Sensors are either 3.3 Vdc or 5.0 Vdc based on the catalog listing selected.

<sup>2</sup>Ratiometricity of the sensor (the ability of the device output to scale to the supply voltage) is achieved within the specified operating voltage.

<sup>3</sup>The sensor is not reverse polarity protected. Incorrect application of supply voltage or ground to the wrong pin may cause electrical failure.

<sup>4</sup>Operating temperature range: The temperature range over which the sensor will produce an output proportional to pressure.

<sup>5</sup>Compensated temperature range: The temperature range over which the sensor will produce an output proportional to pressure within the specified performance limits.

<sup>6</sup>Accuracy: The maximum deviation in output from a Best Fit Straight Line (BFSL) fitted to the output measured over the pressure range at 25 °C [77 °F]. Includes all errors due to pressure non-linearity, pressure hysteresis, and non-repeatability.

<sup>7</sup>Orientation sensitivity: The maximum change in offset of the sensor due to a change in position or orientation relative to Earth's gravitational field.

<sup>8</sup>Full Scale Span (FSS): The algebraic difference between the output signal measured at the maximum (Pmax.) and minimum (Pmin.) limits of the pressure range. (See Figure 4 for ranges.)

<sup>9</sup>Insignificant for pressure ranges above 40 mbar | 4 kPa | 20 inH<sub>2</sub>O.

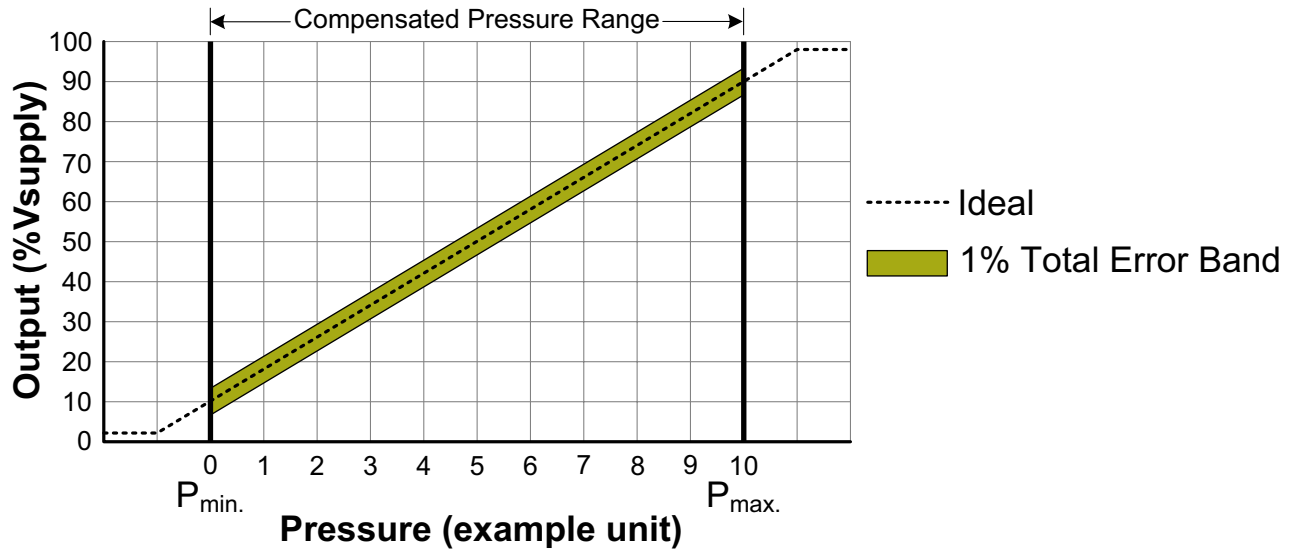
**Table 7. Sensor Output at Significant Percentages (Digital Versions Only)**

% Output	Digital Counts (decimal)	Digital Counts (hex)
0	0	0x0000
10	1638	0x0666
50	8192	0x2000
90	14746	0x399A
100	16383	0x3FFF

# Transfer Function Limits

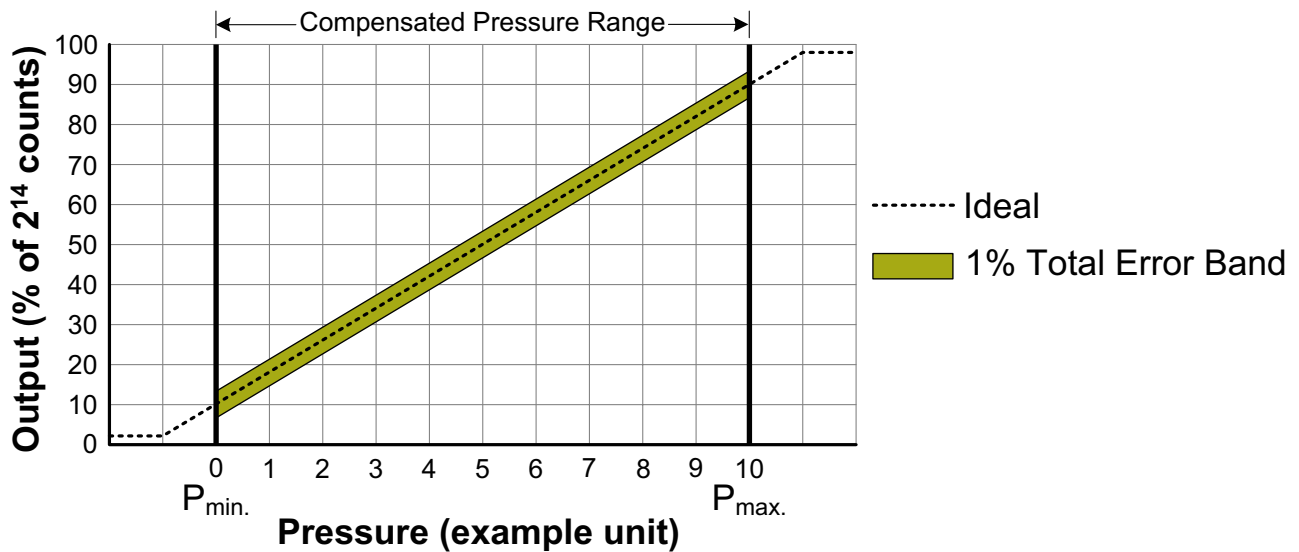
Figure 2. Transfer Function Limits<sup>1</sup>

## Analog Versions



$$\text{Output (V)} = \frac{0.8 \times V_{\text{supply}}}{P_{\text{max.}} - P_{\text{min.}}} \times (\text{Pressure}_{\text{applied}} - P_{\text{min.}}) + 0.10 \times V_{\text{supply}}$$

## Digital Versions

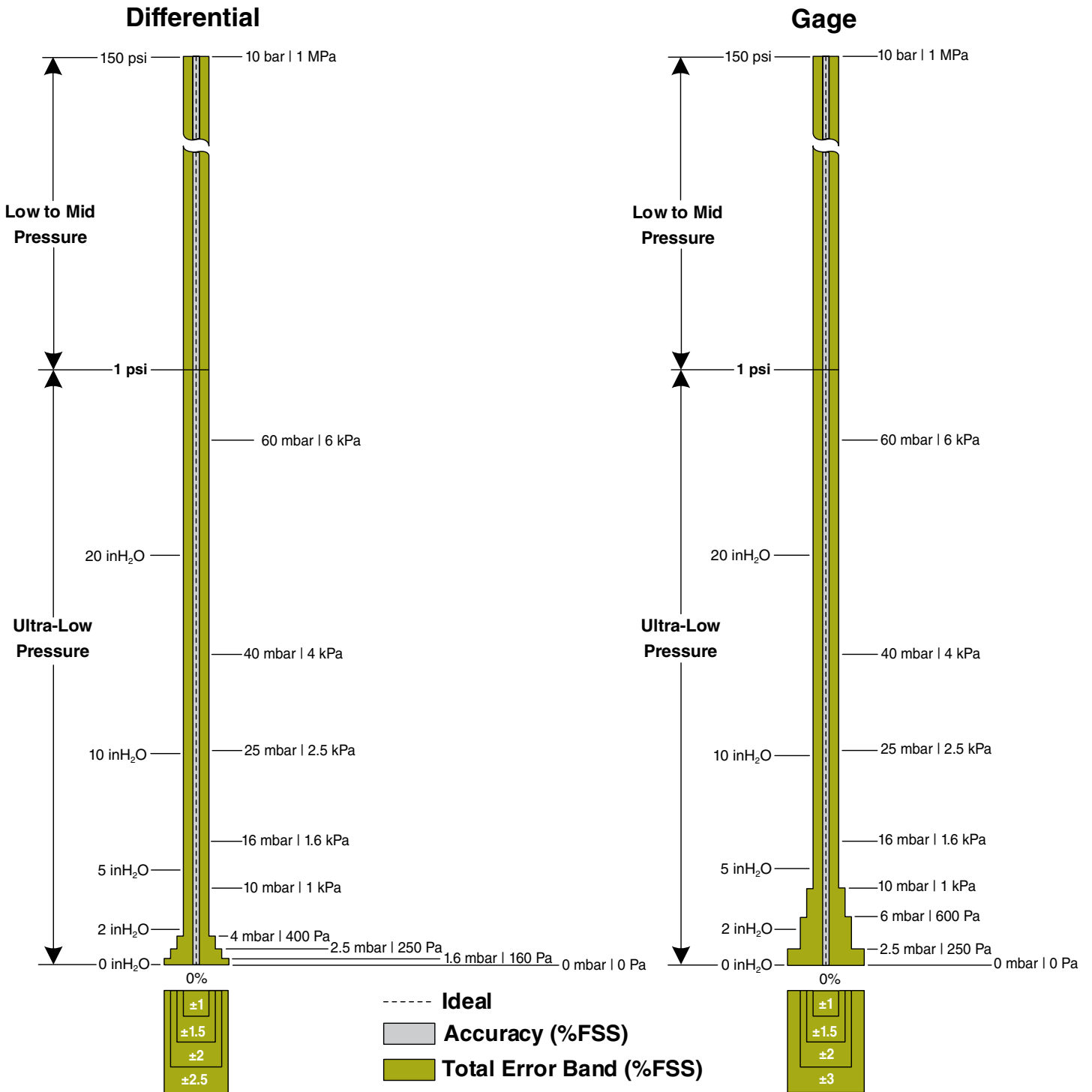


$$\text{Output (\% of } 2^{14} \text{ counts)} = \frac{80\%}{P_{\text{max.}} - P_{\text{min.}}} \times (\text{Pressure}_{\text{applied}} - P_{\text{min.}}) + 10\%$$

<sup>1</sup>Transfer Function "A" is shown. See Figure 4 for other available transfer function options.

# Total Error Band Values

Figure 3. Total Error Band Values for Full Scale Span Pressure Ranges



# Nomenclature and Order Guide

Figure 4. Nomenclature and Order Guide

For example, **HSCDNNN150PGAA3** defines an HSC Series TruStability® Pressure Sensor, DIP package, NN pressure port, no special options, 150 psi gage pressure range, analog output type, 10% to 90% of Vsupply transfer function, 3.3 Vdc supply voltage.

**H S C D N N N 1 5 0 P G A A 3**

**Product Series**

**HSC** High Accuracy, Compensated/Amplified

**Package**

**D** DIP (Dual Inline Pin)

**M** SMT (Surface Mount Technology)

**S** SIP (Single Inline Pin)

**Pressure Port**

DIP		SMT		SIP	
<b>NN</b> No ports		<b>NN</b> No ports		<b>NN</b> No ports	
<b>AN</b> Single axial barbed port		<b>AN</b> Single axial barbed port		<b>AN</b> Single axial barbed port	
<b>LN</b> Single axial barbless port		<b>LN</b> Single axial barbless port		<b>LN</b> Single axial barbless port	
—	—	—	—	<b>AA</b> Dual axial barbed ports, opposite sides	
—	—	—	—	<b>AN</b> Single axial barbed port	
—	—	—	—	<b>LN</b> Single axial barbless port	
—	—	—	—	<b>FF</b> Fastener mount, dual axial barbed ports, opposite sides	
—	—	—	—	<b>FN</b> Fastener mount, single axial barbed port	
—	—	—	—	<b>GN</b> Ribbed fastener mount, single axial barbed port	
—	—	—	—	<b>NB</b> Fastener mount, dual axial ports, same side	
<b>RN</b> Single radial barbed port		<b>RN</b> Single radial barbed port		<b>RN</b> Single radial barbed port	
<b>RR</b> Dual radial barbed ports, same side		<b>RR</b> Dual radial barbed ports, same side		<b>RR</b> Dual radial barbed ports, same side	
<b>DR</b> Dual radial barbed ports, opposite sides		<b>DR</b> Dual radial barbed ports, opposite sides		<b>DR</b> Dual radial barbed ports, opposite sides	
<b>JN</b> Single radial barbless port		<b>JN</b> Single radial barbless port		<b>JN</b> Single radial barbless port	
<b>JJ</b> Dual radial barbless ports, same side		<b>JJ</b> Dual radial barbless ports, same side		<b>JJ</b> Dual radial barbless ports, same side	
—	—	—	—	<b>HH</b> Fastener mount, dual radial barbed ports, same side	
—	—	—	—	<b>HN</b> Fastener mount, single radial barbed port	
—	—	—	—	<b>MN</b> Manifold mount, outer diameter seal	
—	—	—	—	<b>SN</b> Manifold mount, inner diameter seal	

**Options<sup>5, 6</sup>**

<b>N</b> Dry gases only, no diagnostics
<b>D</b> Dry gases only, diagnostics on
<b>T</b> Liquid media on Port 1, no diagnostics
<b>V</b> Liquid media on Port 1, diagnostics on

**Supply Voltage**

<b>3</b>	3.3 Vdc
<b>5</b>	5.0 Vdc

**Transfer Function<sup>1</sup>**

<b>A</b>	10% to 90% of Vsupply (analog), 2 <sup>14</sup> counts (digital)
<b>B</b>	5% to 95% of Vsupply (analog), 2 <sup>14</sup> counts (digital)
<b>C</b>	5% to 85% of Vsupply (analog), 2 <sup>14</sup> counts (digital)
<b>F</b>	4% to 94% of Vsupply (analog), 2 <sup>14</sup> counts (digital)

**Output Type<sup>2</sup>**

<b>A</b>	Analog	<b>4</b>	I <sup>2</sup> C, Address 0x48
<b>S</b>	SPI	<b>5</b>	I <sup>2</sup> C, Address 0x58
<b>2</b>	I <sup>2</sup> C, Address 0x28	<b>6</b>	I <sup>2</sup> C, Address 0x68
<b>3</b>	I <sup>2</sup> C, Address 0x38	<b>7</b>	I <sup>2</sup> C, Address 0x78

**Pressure Range<sup>3, 4</sup>**

±1.6 mbar to ±10 bar		±160 Pa to ±1 MPa		±0.5 inH <sub>2</sub> O to ±150 psi	
<i>Absolute</i>		<i>Absolute</i>		<i>Absolute</i>	
<b>001BA</b>	0 bar to 1 bar	<b>100KA</b>	0 kPa to 100 kPa	<b>015PA</b>	0 psi to 15 psi
<b>1.6BA</b>	0 bar to 1.6 bar	<b>160KA</b>	0 kPa to 160 kPa	<b>030PA</b>	0 psi to 30 psi
<b>2.5BA</b>	0 bar to 2.5 bar	<b>250KA</b>	0 kPa to 250 kPa	<b>060PA</b>	0 psi to 60 psi
<b>004BA</b>	0 bar to 4 bar	<b>400KA</b>	0 kPa to 400 kPa	<b>100PA</b>	0 psi to 100 psi
<b>006BA</b>	0 bar to 6 bar	<b>600KA</b>	0 kPa to 600 kPa	<b>150PA</b>	0 psi to 150 psi
<b>010BA</b>	0 bar to 10 bar	<b>001GA</b>	0 kPa to 1 MPa		
<i>Differential</i>		<i>Differential</i>		<i>Differential</i>	
<b>1.6MD</b>	±1.6 mbar	<b>160LD</b>	±160 Pa	<b>0.5ND</b>	±0.5 inH <sub>2</sub> O
<b>2.5MD</b>	±2.5 mbar	<b>250LD</b>	±250 Pa	<b>001ND</b>	±1 inH <sub>2</sub> O
<b>004MD</b>	±4 mbar	<b>400LD</b>	±400 Pa	<b>002ND</b>	±2 inH <sub>2</sub> O
<b>006MD</b>	±6 mbar	<b>600LD</b>	±600 Pa	<b>004ND</b>	±4 inH <sub>2</sub> O
<b>010MD</b>	±10 mbar	<b>001KD</b>	±1 kPa	<b>005ND</b>	±5 inH <sub>2</sub> O
<b>016MD</b>	±16 mbar	<b>1.6KD</b>	±1.6 kPa	<b>010ND</b>	±10 inH <sub>2</sub> O
<b>025MD</b>	±25 mbar	<b>2.5KD</b>	±2.5 kPa	<b>020ND</b>	±20 inH <sub>2</sub> O
<b>040MD</b>	±40 mbar	<b>004KD</b>	±4 kPa	<b>030ND</b>	±30 inH <sub>2</sub> O
<b>060MD</b>	±60 mbar	<b>006KD</b>	±6 kPa	<b>001PD</b>	±1 psi
<b>100MD</b>	±100 mbar	<b>010KD</b>	±10 kPa	<b>005PD</b>	±5 psi
<b>160MD</b>	±160 mbar	<b>016KD</b>	±16 kPa	<b>015PD</b>	±15 psi
<b>250MD</b>	±250 mbar	<b>025KD</b>	±25 kPa	<b>030PD</b>	±30 psi
<b>400MD</b>	±400 mbar	<b>040KD</b>	±40 kPa	<b>060PD</b>	±60 psi
<b>600MD</b>	±600 mbar	<b>060KD</b>	±60 kPa		
<i>Gage</i>		<i>Gage</i>		<i>Gage</i>	
<b>2.5MG</b>	0 mbar to 2.5 mbar	<b>250LG</b>	0 Pa to 250 Pa	<b>001NG</b>	0 inH <sub>2</sub> O to 1 inH <sub>2</sub> O
<b>004MG</b>	0 mbar to 4 mbar	<b>400LG</b>	0 Pa to 400 Pa	<b>002NG</b>	0 inH <sub>2</sub> O to 2 inH <sub>2</sub> O
<b>006MG</b>	0 mbar to 6 mbar	<b>600LG</b>	0 Pa to 600 Pa	<b>004NG</b>	0 inH <sub>2</sub> O to 4 inH <sub>2</sub> O
<b>010MG</b>	0 mbar to 10 mbar	<b>001KG</b>	0 kPa to 1 kPa	<b>005NG</b>	0 inH <sub>2</sub> O to 5 inH <sub>2</sub> O
<b>016MG</b>	0 mbar to 16 mbar	<b>1.6KG</b>	0 kPa to 1.6 kPa	<b>010NG</b>	0 inH <sub>2</sub> O to 10 inH <sub>2</sub> O
<b>025MG</b>	0 mbar to 25 mbar	<b>2.5KG</b>	0 kPa to 2.5 kPa	<b>020NG</b>	0 inH <sub>2</sub> O to 20 inH <sub>2</sub> O
<b>040MG</b>	0 mbar to 40 mbar	<b>004KG</b>	0 kPa to 4 kPa	<b>030NG</b>	0 inH <sub>2</sub> O to 30 inH <sub>2</sub> O
<b>060MG</b>	0 mbar to 60 mbar	<b>006KG</b>	0 kPa to 6 kPa	<b>001PG</b>	0 psi to 1 psi
<b>100MG</b>	0 mbar to 100 mbar	<b>010KG</b>	0 kPa to 10 kPa	<b>005PG</b>	0 psi to 5 psi
<b>160MG</b>	0 mbar to 160 mbar	<b>016KG</b>	0 kPa to 16 kPa	<b>015PG</b>	0 psi to 15 psi
<b>250MG</b>	0 mbar to 250 mbar	<b>025KG</b>	0 kPa to 25 kPa	<b>030PG</b>	0 psi to 30 psi
<b>400MG</b>	0 mbar to 400 mbar	<b>040KG</b>	0 kPa to 40 kPa	<b>060PG</b>	0 psi to 60 psi
<b>600MG</b>	0 mbar to 600 mbar	<b>060KG</b>	0 kPa to 60 kPa	<b>100PG</b>	0 psi to 100 psi
<b>001BG</b>	0 bar to 1 bar	<b>100KG</b>	0 kPa to 100 kPa	<b>150PG</b>	0 psi to 150 psi
<b>1.6BG</b>	0 bar to 1.6 bar	<b>160KG</b>	0 kPa to 160 kPa		
<b>2.5BG</b>	0 bar to 2.5 bar	<b>250KG</b>	0 kPa to 250 kPa		
<b>004BG</b>	0 bar to 4 bar	<b>400KG</b>	0 kPa to 400 kPa		
<b>006BG</b>	0 bar to 6 bar	<b>600KG</b>	0 kPa to 600 kPa		
<b>010BG</b>	0 bar to 10 bar	<b>001GG</b>	0 kPa to 1 MPa		

<sup>1</sup>The transfer function limits define the output of the sensor at a given pressure input. By specifying Pmin. and Pmax., the output at Pmin. and Pmax., the complete transfer function of the sensor is defined. See the graphical representations of the transfer function in Figure 2. For other available transfer functions contact Honeywell Customer Service.

<sup>2</sup>SPI output function is not available in SIP package.

<sup>3</sup>Custom pressure ranges are available. Contact Honeywell Customer Service for more information.

<sup>4</sup>See the explanation of sensor pressure types in Table 4.

<sup>5</sup>See the CAUTION in this document.

<sup>6</sup>Options T and V are only available on pressure ranges ±60 mbar to ±10 bar | ±6 kPa to ±1 MPa | ±1 psi to ±150 psi.

# Pressure Range Specifications

## ±1.6 mbar to ±10 bar

Table 8. Pressure Range Specifications for ±1.6 mbar to ±10 bar

Pressure Range (see Figure 4)	Pressure Range		Unit	Working Pressure <sup>1</sup>	Over Pressure <sup>2</sup>	Burst Pressure <sup>3</sup>	Common Mode Pressure <sup>4</sup>	Total Error Band <sup>5</sup> (%FSS)	Total Error Band after Auto-Zero <sup>6</sup> (%FSS)	Long-term Stability 1000 hr, 25 °C (%FSS)
	Pmin.	Pmax.								
<b>Absolute</b>										
001BA	0	1	bar	-	2	4	-	±1%	-	±0.25%
1.6BA	0	1.6	bar	-	4	8	-	±1%	-	±0.25%
2.5BA	0	2.5	bar	-	6	8	-	±1%	-	±0.25%
004BA	0	4	bar	-	8	16	-	±1%	-	±0.25%
006BA	0	6	bar	-	17	17	-	±1%	-	±0.25%
010BA	0	10	bar	-	17	17	-	±1%	-	±0.25%
<b>Differential</b>										
1.6MD	-1.6	1.6	mbar	335	675	1000	3450	±2.5%	±1.75%	±0.5%
2.5MD	-2.5	2.5	mbar	335	675	1000	3450	±2%	±1.25%	±0.35%
004MD	-4	4	mbar	335	675	1000	3450	±1.5%	±0.75%	±0.35%
006MD	-6	6	mbar	335	675	1000	3450	±1%	±0.75%	±0.35%
010MD	-10	10	mbar	375	750	1250	5450	±1%	±0.5%	±0.25%
016MD	-16	16	mbar	375	750	1250	5450	±1%	±0.5%	±0.25%
025MD	-25	25	mbar	435	850	1350	10450	±1%	±0.5%	±0.25%
040MD	-40	40	mbar	435	850	1350	10450	±1%	±0.5%	±0.25%
060MD	-60	60	mbar	-	850	1000	10000	±1%	-	±0.25%
100MD	-100	100	mbar	-	1400	2500	10000	±1%	-	±0.25%
160MD	-160	160	mbar	-	1400	2500	10000	±1%	-	±0.25%
250MD	-250	250	mbar	-	1400	2500	10000	±1%	-	±0.25%
400MD	-400	400	mbar	-	2000	4000	10000	±1%	-	±0.25%
600MD	-600	600	mbar	-	2000	4000	10000	±1%	-	±0.25%
001BD	-1	1	bar	-	4	8	10	±1%	-	±0.25%
1.6BD	-1.6	1.6	bar	-	8	16	10	±1%	-	±0.25%
2.5BD	-2.5	2.5	bar	-	8	16	10	±1%	-	±0.25%
004BD	-4.0	4.0	bar	-	16	17	10	±1%	-	±0.25%
<b>Gage</b>										
2.5MG	0	2.5	mbar	335	675	1000	3450	±3%	±2%	±0.5%
004MG	0	4	mbar	335	675	1000	3450	±2%	±1.25%	±0.5%
006MG	0	6	mbar	335	675	1000	3450	±2%	±1%	±0.35%
010MG	0	10	mbar	335	675	1000	3450	±1.5%	±0.75%	±0.35%
016MG	0	16	mbar	335	675	1000	3450	±1%	±0.75%	±0.25%
025MG	0	25	mbar	375	750	1250	5450	±1%	±0.5%	±0.25%
040MG	0	40	mbar	375	750	1250	5450	±1%	±0.5%	±0.25%
060MG	0	60	mbar	-	850	1000	5450	±1%	±0.5%	±0.25%
100MG	0	100	mbar	-	850	1000	10000	±1%	-	±0.25%
160MG	0	160	mbar	-	850	1000	10000	±1%	-	±0.25%
250MG	0	250	mbar	-	1400	2500	10000	±1%	-	±0.25%
400MG	0	400	mbar	-	2000	4000	10000	±1%	-	±0.25%
600MG	0	600	mbar	-	2000	4000	10000	±1%	-	±0.25%
001BG	0	1	bar	-	2	4	10	±1%	-	±0.25%
1.6BG	0	1.6	bar	-	4	8	10	±1%	-	±0.25%
2.5BG	0	2.5	bar	-	8	16	10	±1%	-	±0.25%
004BG	0	4	bar	-	8	16	16	±1%	-	±0.25%
006BG	0	6	bar	-	17	17	17	±1%	-	±0.25%
010BG	0	10	bar	-	17	17	17	±1%	-	±0.25%

<sup>1</sup>Working pressure: The maximum pressure that may be applied to any port of the sensor in continuous use. This pressure may be outside the operating pressure range limits (Pmin. to Pmax.) in which case the sensor may not provide a valid output until pressure is returned to within the operating pressure range. Tested to 1 million cycles, minimum.

<sup>2</sup>Overpressure: The maximum pressure which may safely be applied to the product for it to remain in specification once pressure is returned to the operating pressure range. Exposure to higher pressures may cause permanent damage to the product. Unless otherwise specified this applies to all available pressure ports at any temperature with the operating temperature range.

<sup>3</sup>Burst pressure: The maximum pressure that may be applied to any port of the product without causing escape of pressure media. Product should not be expected to function after exposure to any pressure beyond the burst pressure.

<sup>4</sup>Common mode pressure: The maximum pressure that can be applied simultaneously to both ports of a differential pressure sensor without causing changes in specified performance.

<sup>5</sup>Total Error Band: The maximum deviation from the ideal transfer function over the entire compensated temperature and pressure range. Includes all errors due to offset, full scale span, pressure non-linearity, pressure hysteresis, repeatability, thermal effect on offset, thermal effect on span, and thermal hysteresis (see Figure 1).

<sup>6</sup>Total Error Band after Auto-Zero: The maximum deviation from the ideal transfer function over the entire compensated pressure range at a constant temperature and supply voltage for a minimum of 24 hours after an auto-zero operation. Includes all errors due to full scale span, pressure non-linearity, pressure hysteresis, and thermal effect on span.

# Pressure Range Specifications

## ±160 Pa to ±1 MPa

Table 9. Pressure Range Specifications for ±160 Pa to ±1 MPa

Pressure Range (see Figure 4)	Pressure Range		Unit	Working Pressure <sup>1</sup>	Over Pressure <sup>2</sup>	Burst Pressure <sup>3</sup>	Common Mode Pressure <sup>4</sup>	Total Error Band <sup>5</sup> (%FSS)	Total Error Band after Auto-Zero <sup>6</sup> (%FSS)	Long-term Stability 1000 hr, 25 °C (%FSS)
	Pmin.	Pmax.								
<b>Absolute</b>										
100KA	0	100	kPa	-	200	400	-	±1%	-	±0.25%
160KA	0	160	kPa	-	400	800	-	±1%	-	±0.25%
250KA	0	250	kPa	-	600	800	-	±1%	-	±0.25%
400KA	0	400	kPa	-	800	1600	-	±1%	-	±0.25%
600KA	0	600	kPa	-	1700	1700	-	±1%	-	±0.25%
001GA	0	1	MPa	-	1700	1700	-	±1%	-	±0.25%
<b>Differential</b>										
160LD	-160	160	Pa	33500	67500	100000	345000	±2.5%	±1.75%	±0.5%
250LD	-250	250	Pa	33500	67500	100000	345000	±2%	±1.25%	±0.35%
400LD	-400	400	Pa	33500	67500	100000	345000	±1.5%	±0.75%	±0.35%
600LD	-600	600	Pa	33500	67500	100000	345000	±1%	±0.75%	±0.35%
001KD	-1	1	kPa	37.5	75	125	545	±1%	±0.5%	±0.25%
1.6KD	-1.6	1.6	kPa	37.5	75	125	545	±1%	±0.5%	±0.25%
2.5KD	-2.5	2.5	kPa	43.5	85	135	1045	±1%	±0.5%	±0.25%
004KD	-4	4	kPa	43.5	85	135	1045	±1%	±0.5%	±0.25%
006KD	-6	6	kPa	-	85	100	1000	±1%	-	±0.25%
010KD	-10	10	kPa	-	140	250	1000	±1%	-	±0.25%
016KD	-16	16	kPa	-	140	250	1000	±1%	-	±0.25%
025KD	-25	25	kPa	-	140	250	1000	±1%	-	±0.25%
040KD	-40	40	kPa	-	200	400	1000	±1%	-	±0.25%
060KD	-60	60	kPa	-	200	400	1000	±1%	-	±0.25%
100KD	-100	100	kPa	-	400	800	1000	±1%	-	±0.25%
160KD	-160	160	kPa	-	800	1600	1000	±1%	-	±0.25%
250KD	-250	250	kPa	-	800	1600	1000	±1%	-	±0.25%
400KD	-400	400	kPa	-	1600	1700	1000	±1%	-	±0.25%
<b>Gage</b>										
250LG	0	250	Pa	33500	67500	100000	345000	±3%	±2%	±0.5%
400LG	0	400	Pa	33500	67500	100000	345000	±2%	±1.25%	±0.5%
600LG	0	600	Pa	33500	67500	100000	345000	±2%	±1%	±0.35%
001KG	0	1	kPa	33.5	67.5	100	345	±1.5%	±0.75%	±0.35%
1.6KG	0	1.6	kPa	33.5	67.5	100	345	±1%	±0.75%	±0.25%
2.5KG	0	2.5	kPa	37.5	75	125	545	±1%	±0.5%	±0.25%
004KG	0	4	kPa	37.5	75	125	545	±1%	±0.5%	±0.25%
006KG	0	6	kPa	-	85	100	545	±1%	±0.5%	±0.25%
010KG	0	10	kPa	-	85	100	1000	±1%	-	±0.25%
016KG	0	16	kPa	-	85	100	1000	±1%	-	±0.25%
025KG	0	25	kPa	-	140	250	1000	±1%	-	±0.25%
040KG	0	40	kPa	-	200	400	1000	±1%	-	±0.25%
060KG	0	60	kPa	-	200	400	1000	±1%	-	±0.25%
100KG	0	100	kPa	-	200	400	1000	±1%	-	±0.25%
160KG	0	160	kPa	-	400	800	1000	±1%	-	±0.25%
250KG	0	250	kPa	-	800	1600	1000	±1%	-	±0.25%
400KG	0	400	kPa	-	800	1600	1600	±1%	-	±0.25%
600KG	0	600	kPa	-	1700	1700	1700	±1%	-	±0.25%
001GG	0	1	MPa	-	1.7	1.7	1.7	±1%	-	±0.25%

<sup>1</sup>Working pressure: The maximum pressure that may be applied to any port of the sensor in continuous use. This pressure may be outside the operating pressure range limits (Pmin. to Pmax.) in which case the sensor may not provide a valid output until pressure is returned to within the operating pressure range. Tested to 1 million cycles, minimum.

<sup>2</sup>Overpressure: The maximum pressure which may safely be applied to the product for it to remain in specification once pressure is returned to the operating pressure range. Exposure to higher pressures may cause permanent damage to the product. Unless otherwise specified this applies to all available pressure ports at any temperature with the operating temperature range.

<sup>3</sup>Burst pressure: The maximum pressure that may be applied to any port of the product without causing escape of pressure media. Product should not be expected to function after exposure to any pressure beyond the burst pressure.

<sup>4</sup>Common mode pressure: The maximum pressure that can be applied simultaneously to both ports of a differential pressure sensor without causing changes in specified performance.

<sup>5</sup>Total Error Band: The maximum deviation from the ideal transfer function over the entire compensated temperature and pressure range. Includes all errors due to offset, full scale span, pressure non-linearity, pressure hysteresis, repeatability, thermal effect on offset, thermal effect on span, and thermal hysteresis (see Figure 1).

<sup>6</sup>Total Error Band after Auto-Zero: The maximum deviation from the ideal transfer function over the entire compensated pressure range at a constant temperature and supply voltage for a minimum of 24 hours after an auto-zero operation. Includes all errors due to full scale span, pressure non-linearity, pressure hysteresis, and thermal effect on span.

# Specifications

## ±0.5 inH<sub>2</sub>O to ±150 psi

Table 10. Pressure Range Specifications for 0.5 inH<sub>2</sub>O to 150 psi

Pressure Range (see Figure 4)	Pressure Range		Unit	Working Pressure <sup>1</sup>	Over Pressure <sup>2</sup>	Burst Pressure <sup>3</sup>	Common Mode Pressure <sup>4</sup>	Total Error Band <sup>5</sup> (%FSS)	Total Error Band after Auto-Zero <sup>6</sup> (%FSS)	Long-term Stability 1000 hr, 25 °C (%FSS)
	Pmin.	Pmax.								
<b>Absolute</b>										
015PA	0	15	psi	-	30	60	-	±1%	-	±0.25%
030PA	0	30	psi	-	60	120	-	±1%	-	±0.25%
060PA	0	60	psi	-	120	240	-	±1%	-	±0.25%
100PA	0	100	psi	-	250	250	-	±1%	-	±0.25%
150PA	0	150	psi	-	250	250	-	±1%	-	±0.25%
<b>Differential</b>										
0.5ND	-0.5	0.5	inH <sub>2</sub> O	135	270	415	1400	±3%	±2%	±0.5%
001ND	-1	1	inH <sub>2</sub> O	135	270	415	1400	±2%	±1.25%	±0.35%
002ND	-2	2	inH <sub>2</sub> O	135	270	415	1400	±1%	±0.75%	±0.35%
004ND	-4	4	inH <sub>2</sub> O	150	300	500	2200	±1%	±0.5%	±0.25%
005ND	-5	5	inH <sub>2</sub> O	150	300	500	2200	±1%	±0.5%	±0.25%
010ND	-10	10	inH <sub>2</sub> O	175	350	550	4200	±1%	±0.5%	±0.25%
020ND	-20	20	inH <sub>2</sub> O	175	350	550	4200	±1%	±0.5%	±0.25%
030ND	-30	30	inH <sub>2</sub> O	175	350	550	4200	±1%	±0.5%	±0.25%
001PD	-1	1	psi	-	10	15	150	±1%	-	±0.25%
005PD	-5	5	psi	-	30	40	150	±1%	-	±0.25%
015PD	-15	15	psi	-	60	120	150	±1%	-	±0.25%
030PD	-30	30	psi	-	120	240	150	±1%	-	±0.25%
060PD	-60	60	psi	-	250	250	250	±1%	-	±0.25%
<b>Gage</b>										
001NG	0	1	inH <sub>2</sub> O	135	270	415	1400	±3%	±2%	±0.5%
002NG	0	2	inH <sub>2</sub> O	135	270	415	1400	±2%	±1.25%	±0.35%
004NG	0	4	inH <sub>2</sub> O	135	270	415	1400	±1.5%	±0.75%	±0.35%
005NG	0	5	inH <sub>2</sub> O	135	270	415	1400	±1%	±0.75%	±0.25%
010NG	0	10	inH <sub>2</sub> O	150	300	500	2200	±1%	±0.5%	±0.25%
020NG	0	20	inH <sub>2</sub> O	175	350	550	4200	±1%	±0.5%	±0.25%
030NG	0	30	inH <sub>2</sub> O	175	350	550	4200	±1%	±0.5%	±0.25%
001PG	0	1	psi	-	10	15	150	±1%	-	±0.25%
005PG	0	5	psi	-	30	40	150	±1%	-	±0.25%
015PG	0	15	psi	-	60	120	150	±1%	-	±0.25%
030PG	0	30	psi	-	120	240	150	±1%	-	±0.25%
060PG	0	60	psi	-	250	250	250	±1%	-	±0.25%
100PG	0	100	psi	-	250	250	250	±1%	-	±0.25%
150PG	0	150	psi	-	250	250	250	±1%	-	±0.25%

<sup>1</sup>Working pressure: The maximum pressure that may be applied to any port of the sensor in continuous use. This pressure may be outside the operating pressure range limits (Pmin. to Pmax.) in which case the sensor may not provide a valid output until pressure is returned to within the operating pressure range. Tested to 1 million cycles, minimum.

<sup>2</sup>Overpressure: The maximum pressure which may safely be applied to the product for it to remain in specification once pressure is returned to the operating pressure range. Exposure to higher pressures may cause permanent damage to the product. Unless otherwise specified this applies to all available pressure ports at any temperature with the operating temperature range.

<sup>3</sup>Burst pressure: The maximum pressure that may be applied to any port of the product without causing escape of pressure media. Product should not be expected to function after exposure to any pressure beyond the burst pressure.




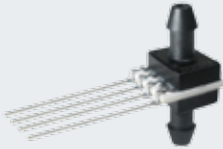





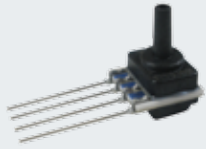







<sup>4</sup>Common mode pressure: The maximum pressure that can be applied simultaneously to both ports of a differential pressure sensor without causing changes in specified performance.

<sup>5</sup>Total Error Band: The maximum deviation from the ideal transfer function over the entire compensated temperature and pressure range. Includes all errors due to offset, full scale span, pressure non-linearity, pressure hysteresis, repeatability, thermal effect on offset, thermal effect on span, and thermal hysteresis

<sup>6</sup>Total Error Band after Auto-Zero: The maximum deviation from the ideal transfer function over the entire compensated pressure range at a constant temperature and supply voltage for a minimum of 24 hours after an auto-zero operation. Includes all errors due to full scale span, pressure non-linearity, pressure hysteresis, and thermal effect on span.

# Available Standard Configurations

Figure 5. All Available Standard Configurations (Dimensional drawings on pages noted below.)

Package Code	Pressure Port		
	DIP	SMT	SIP
NN	 <i>page 19</i>	 <i>page 21</i>	 <i>page 24</i>
AA	—	—	 <i>page 24</i>
AN	 <i>page 19</i>	 <i>page 22</i>	 <i>page 25</i>
LN	 <i>page 19</i>	 <i>page 22</i>	 <i>page 25</i>
FF	—	—	 <i>page 25</i>
FN	—	—	 <i>page 26</i>
GN	—	—	 <i>page 26</i>
NB	—	—	 <i>page 26</i>
RN	 <i>page 20</i>	 <i>page 22</i>	 <i>page 27</i>



# Available Standard Configurations

Figure 5. All Available Standard Configurations (Continued; dimensional drawings on pages noted below.)

Package Code	Pressure Port		
	DIP	SMT	SIP
RR	 <i>page 20</i>	 <i>page 23</i>	 <i>page 27</i>
DR	 <i>page 20</i>	 <i>page 23</i>	 <i>page 27</i>
JN	 <i>page 21</i>	 <i>page 23</i>	 <i>page 28</i>
JJ	 <i>page 21</i>	 <i>page 24</i>	 <i>page 28</i>
HH	—	—	 <i>page 28</i>
HN	—	—	 <i>page 29</i>
MN	—	—	 <i>page 29</i>
SN	—	—	 <i>page 29</i>

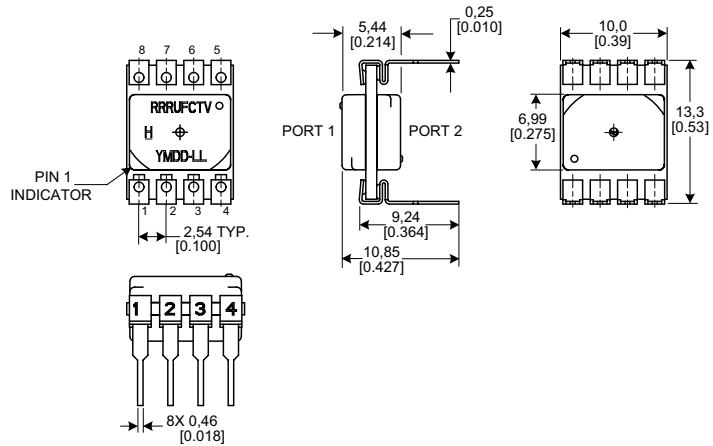
# Dimensional Drawings

## DIP Packages

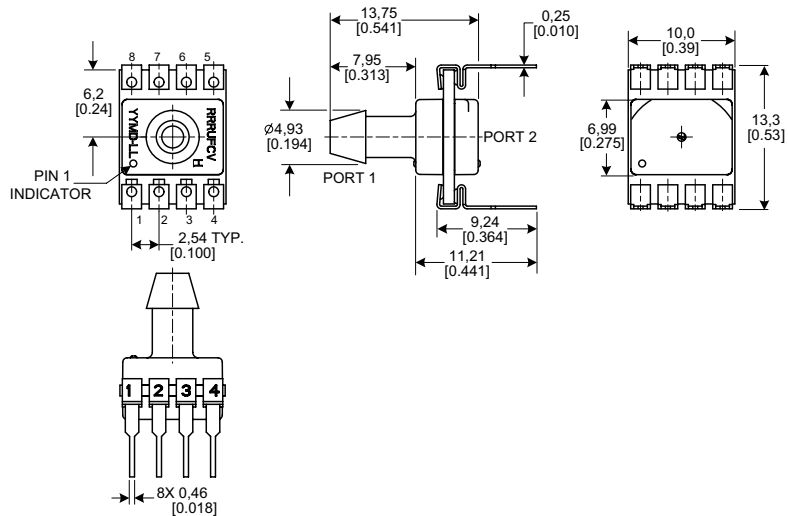
Figure 6. DIP Package Dimensional Drawings (For reference only: mm [in].)

### Dimensions

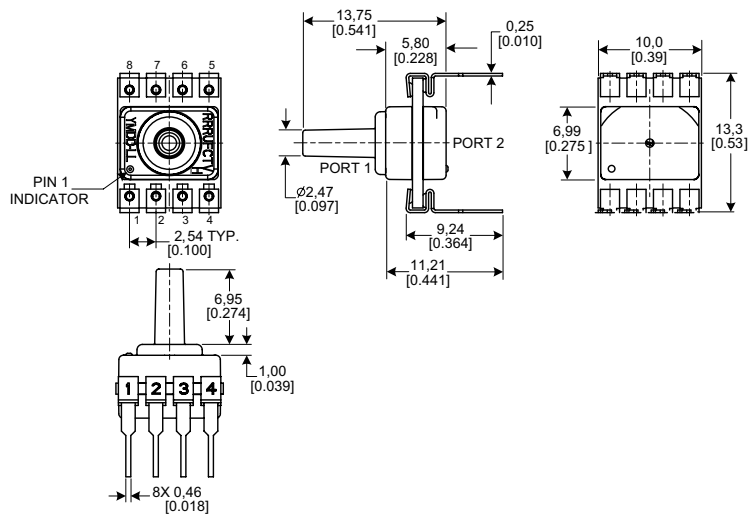
**DIP NN:** No ports



**DIP AN:** Single axial barbed port



**DIP LN:** Single axial barbless port



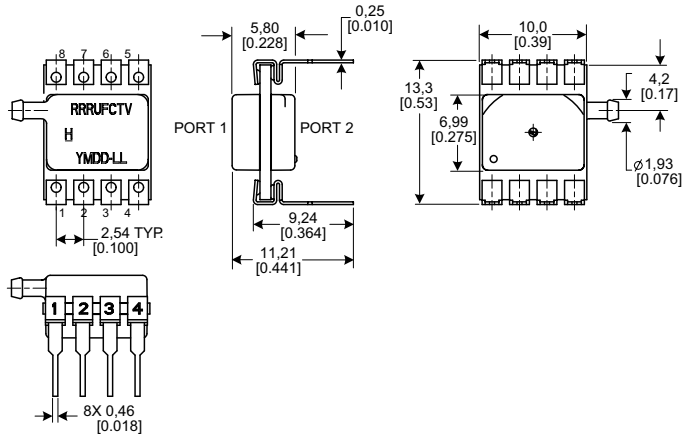
# Dimensional Drawings

## DIP Packages

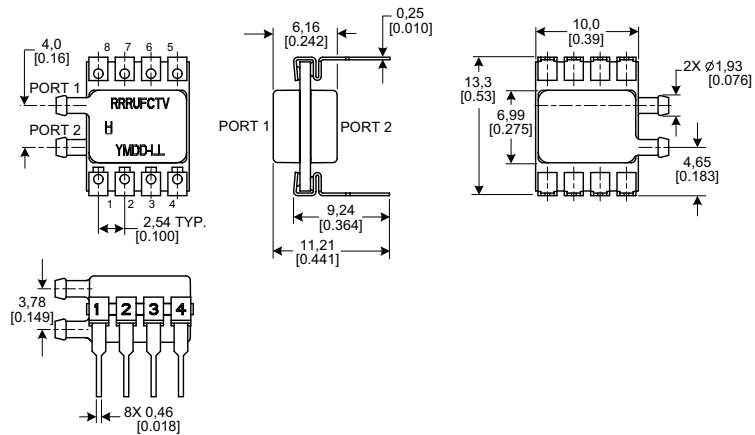
Figure 6. DIP Package Dimensional Drawings (continued)

### Dimensions

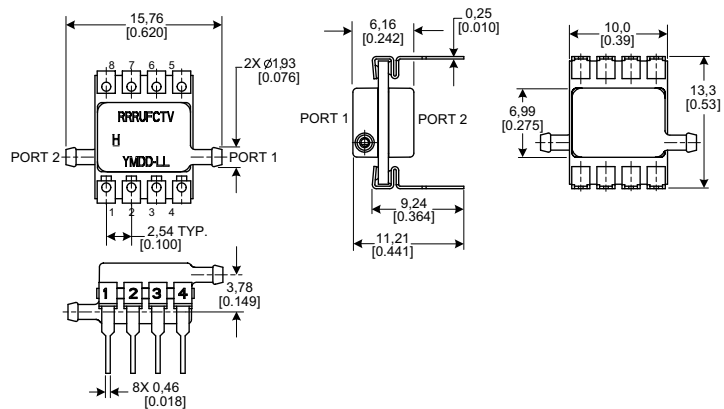
**DIP RN:** Single radial barbed port



**DIP RR:** Dual radial barbed ports, same side



**DIP DR:** Dual radial barbed ports, opposite sides



# Dimensional Drawings

## DIP and SMT Packages

Figure 6. DIP Package Dimensional Drawings (continued)

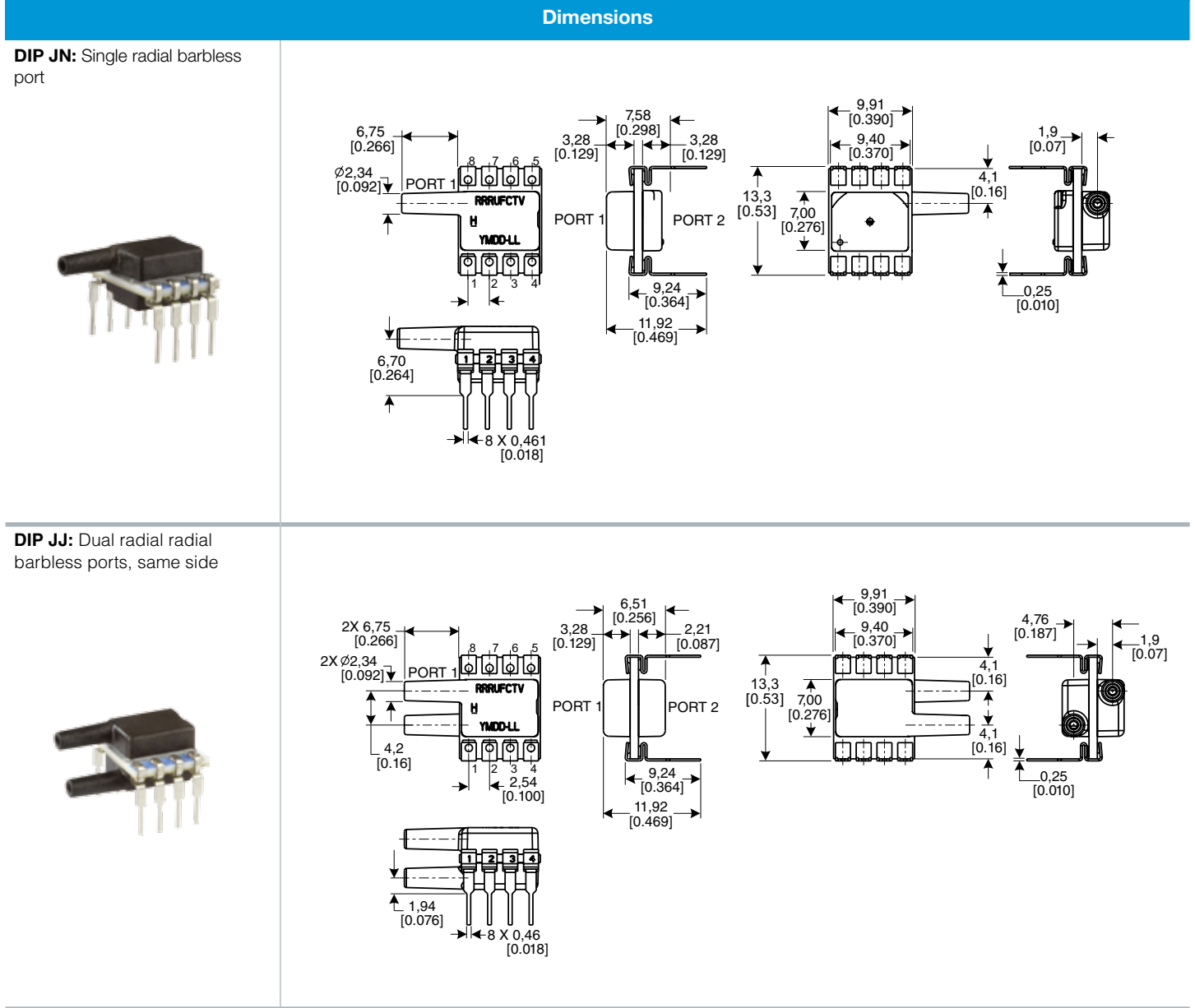
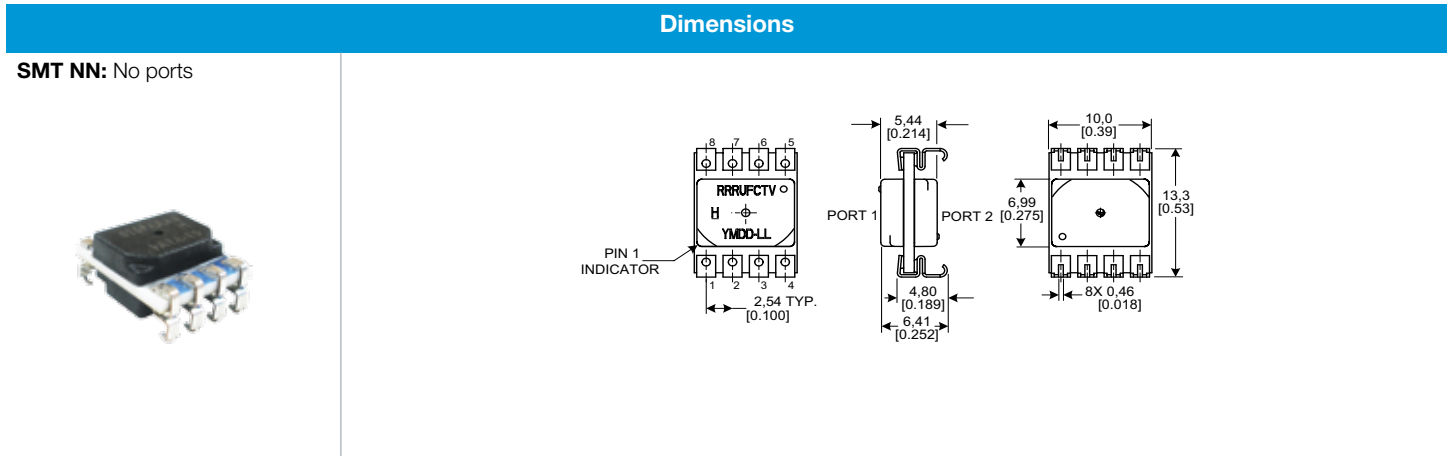


Figure 7. SMT Package Dimensional Drawings (For reference only: mm [in].)



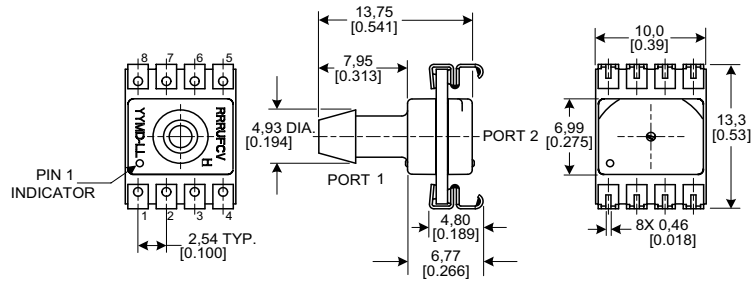
# Dimensional Drawings

## SMT Packages

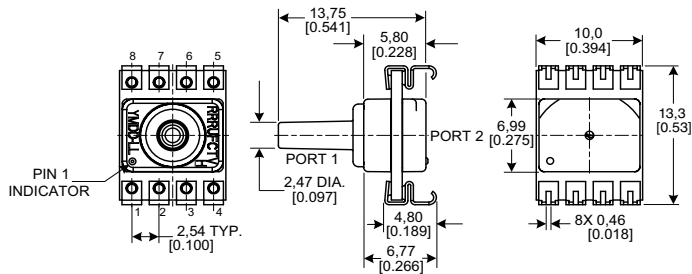
Figure 7. SMT Package Dimensional Drawings (continued)

### Dimensions

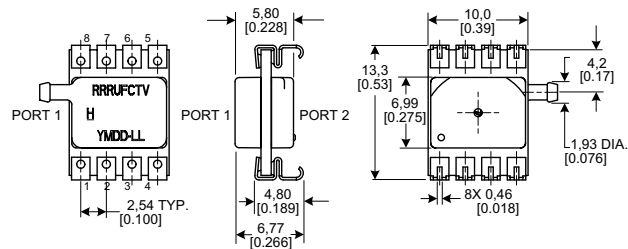
**SMT AN:** Single axial barbed port



**SMT LN:** Single axial barbless port



**SMT RN:** Single radial barbed port



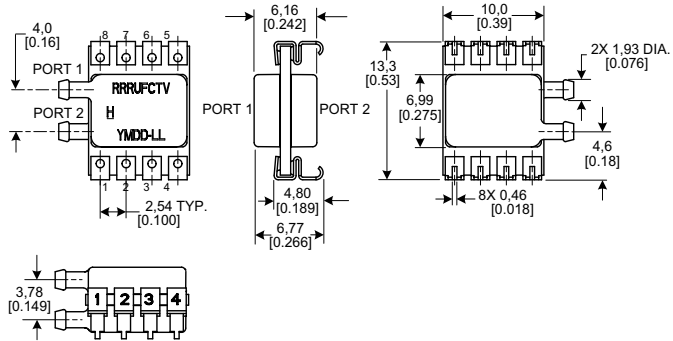
# Dimensional Drawings

## SMT Packages

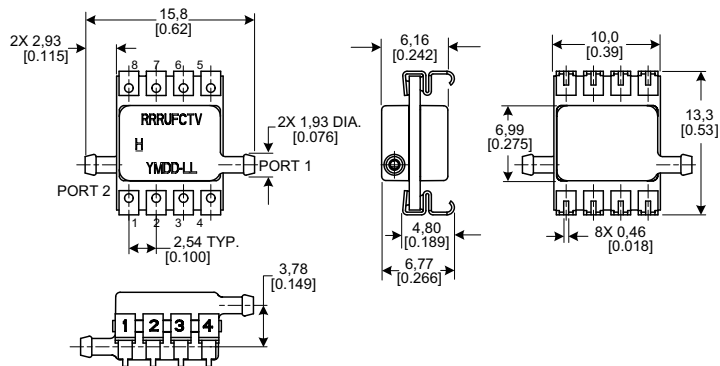
Figure 7. SMT Package Dimensional Drawings (continued)

### Dimensions

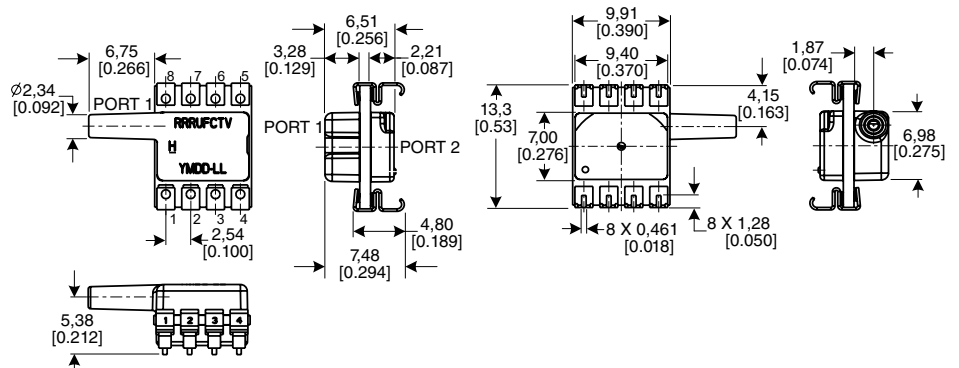
**SMT RR:** Dual radial barbed ports, same side



**SMT DR:** Dual radial barbed ports, opposite sides



**SMT JN:** Single radial barbless port



# Dimensional Drawings

## SMT and SIP Packages

Figure 7. SMT Package Dimensional Drawings (continued)

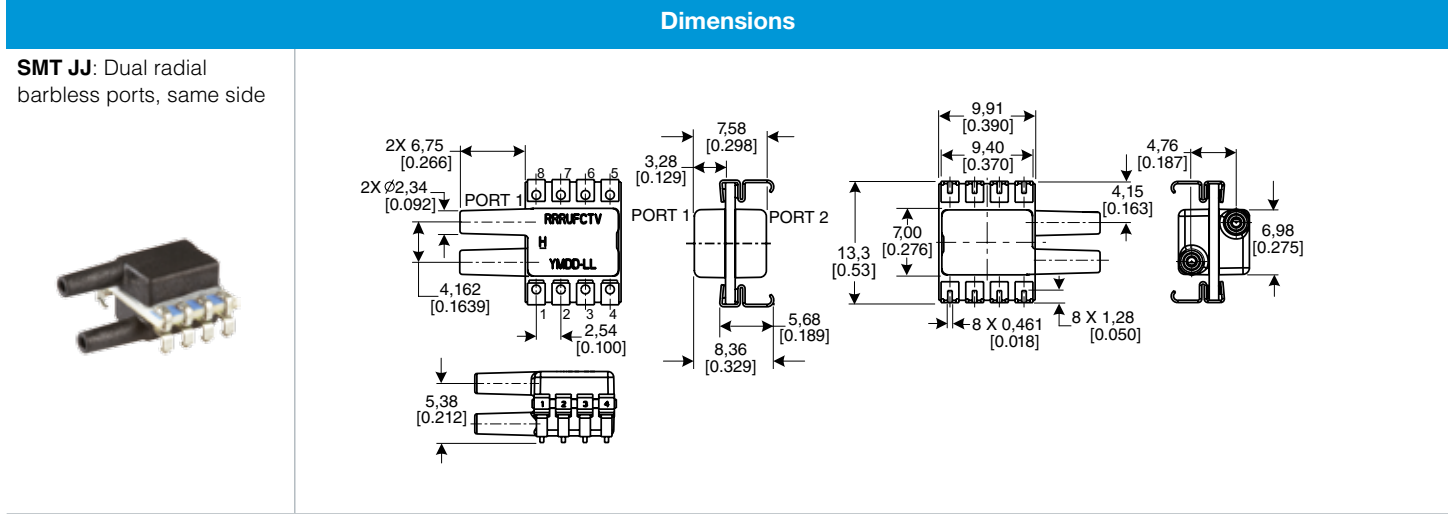
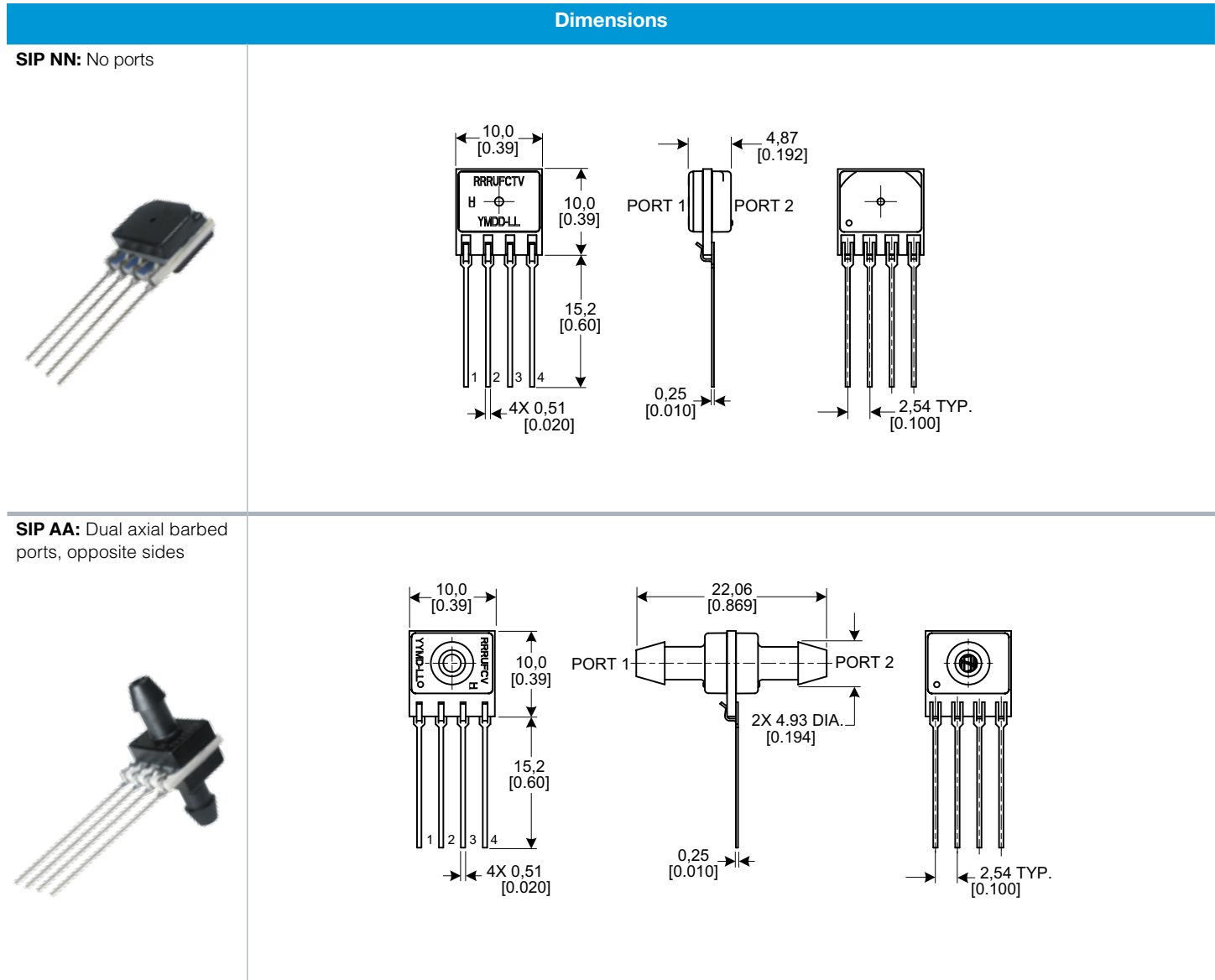


Figure 8. SIP Package Dimensional Drawings (For reference only: mm [in.]



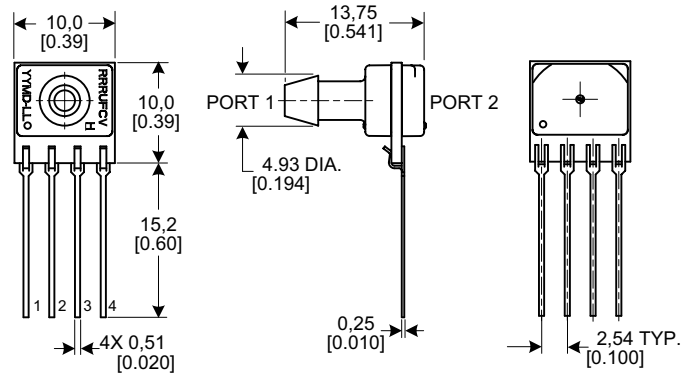
# Dimensional Drawings

## SIP Packages

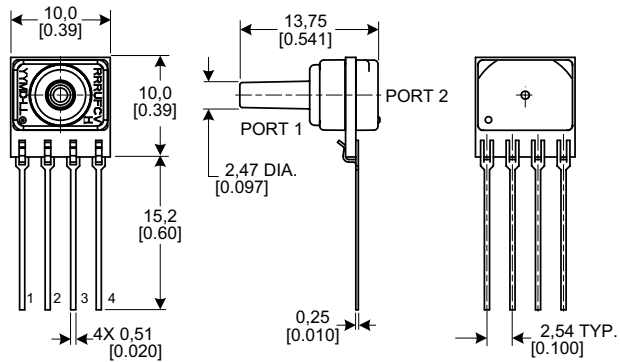
Figure 8. SIP Package Dimensional Drawings (continued)

### Dimensions

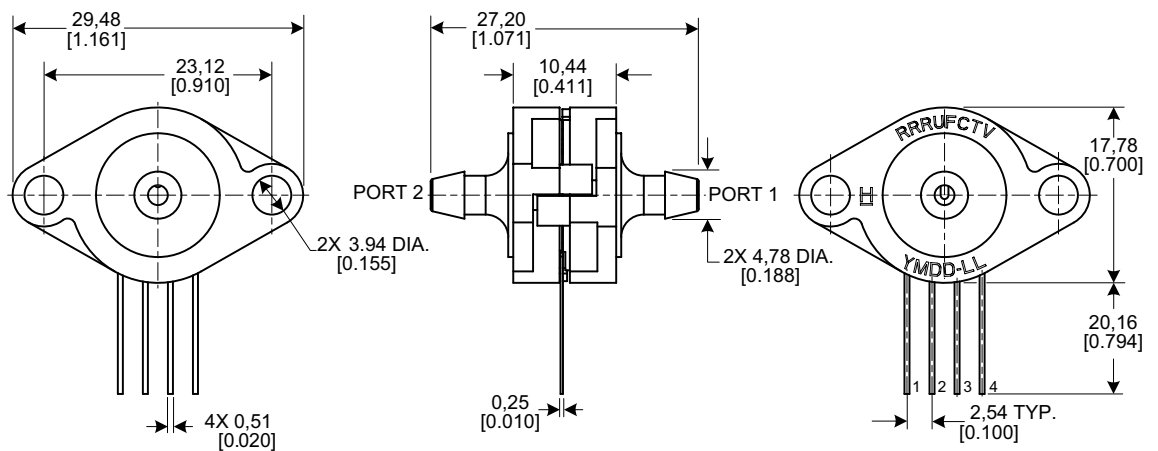
**SIP AN:** Single axial barbed port



**SIP LN:** Single axial barbless port



**SIP FF:** Fastener mount, dual axial barbed ports, opposite sides





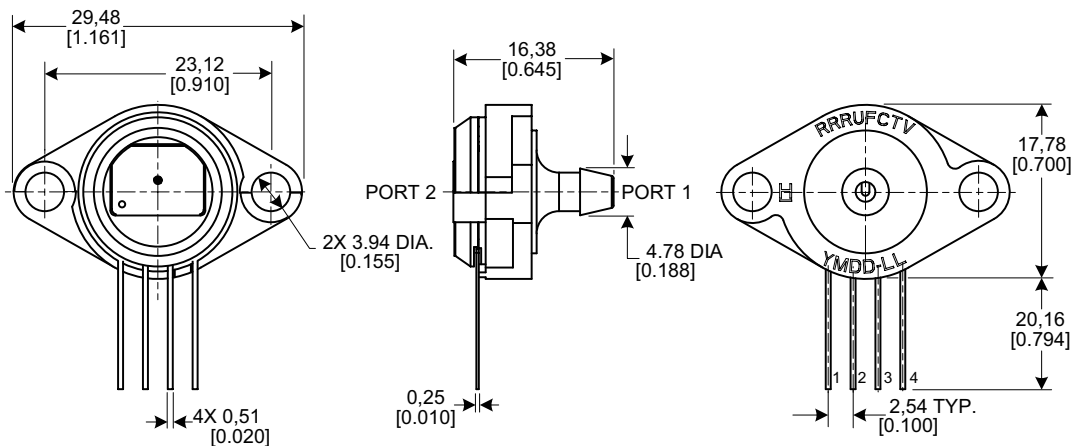
# Dimensional Drawings

## SIP Packages

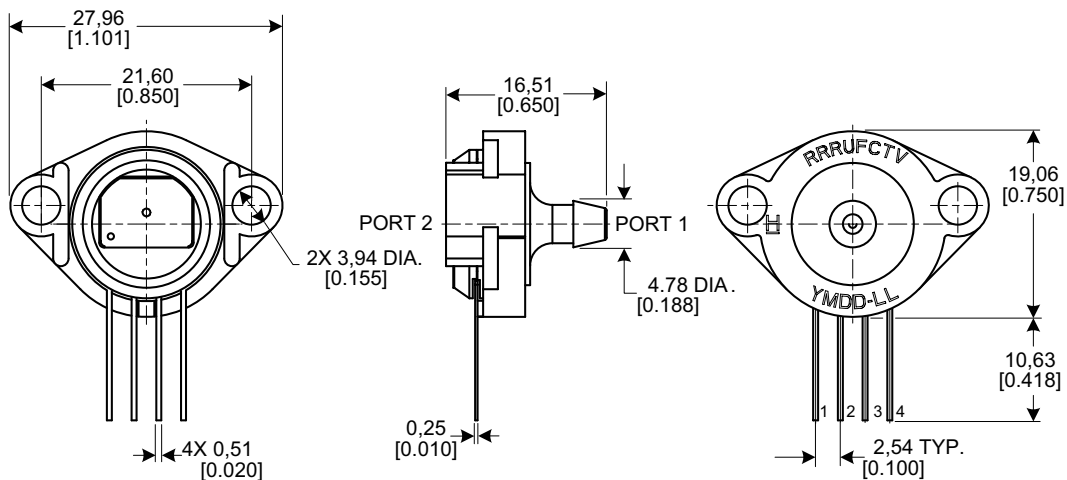
Figure 8. SIP Package Dimensional Drawings (continued)

### Dimensions

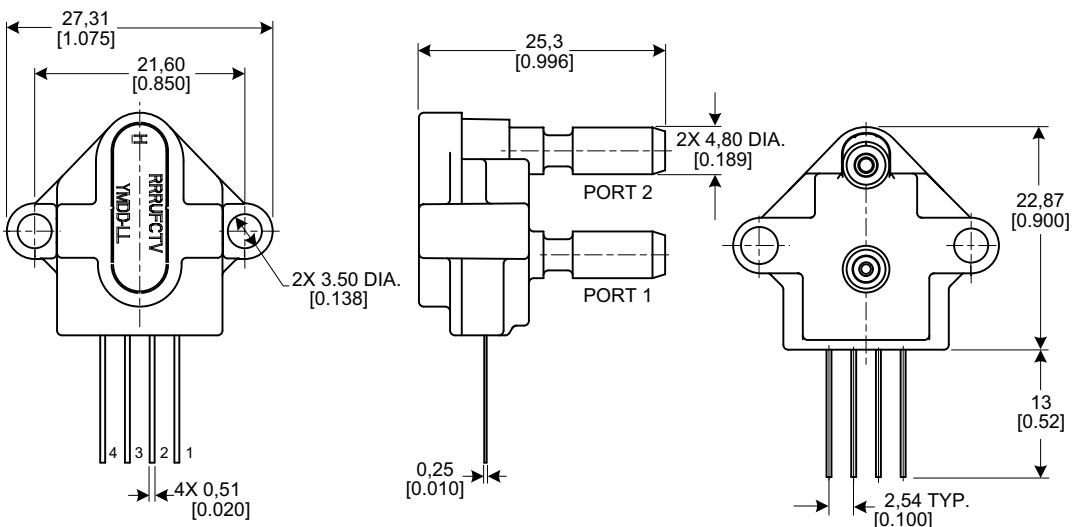
**SIP FN:** Fastener mount, single axial barbed port



**SIP GN:** Ribbed fastener mount, single axial barbed port



**SIP NB:** Fastener mount, dual axial ports, same side



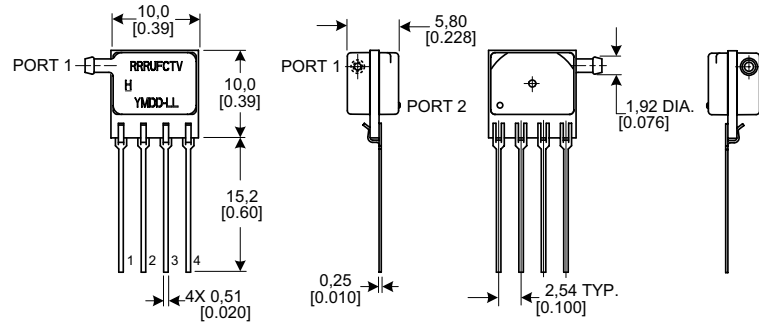
# Dimensional Drawings

## SIP Packages

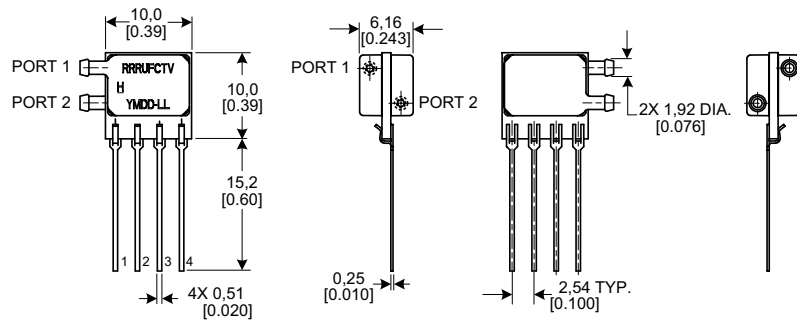
Figure 8. SIP Package Dimensional Drawings (continued)

### Dimensions

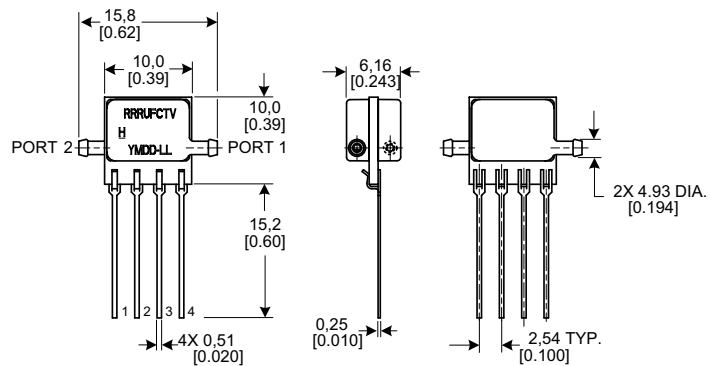
**SIP RN:** Single radial barbed port



**SIP RR:** Dual radial barbed ports, same side



**SIP DR:** Dual radial barbed ports, opposite sides



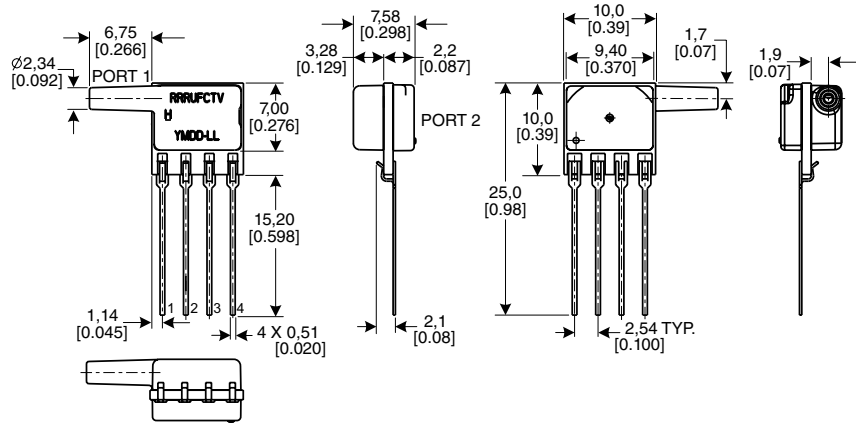
# Dimensional Drawings

## SIP Packages

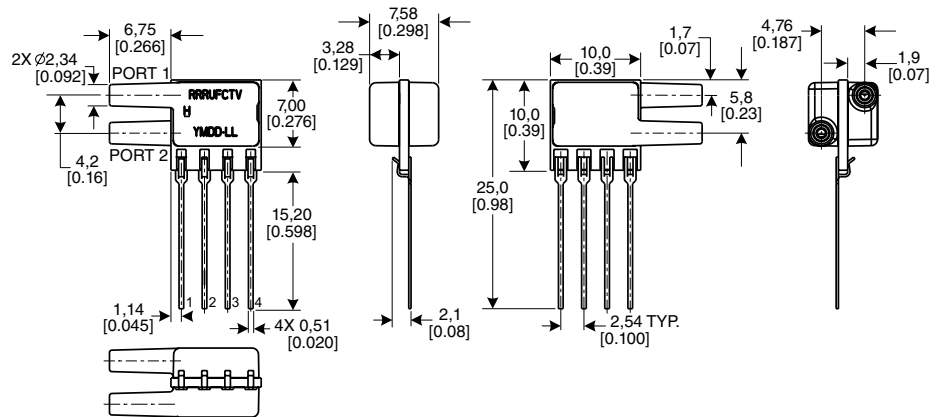
Figure 8. SIP Package Dimensional Drawings (continued)

### Dimensions

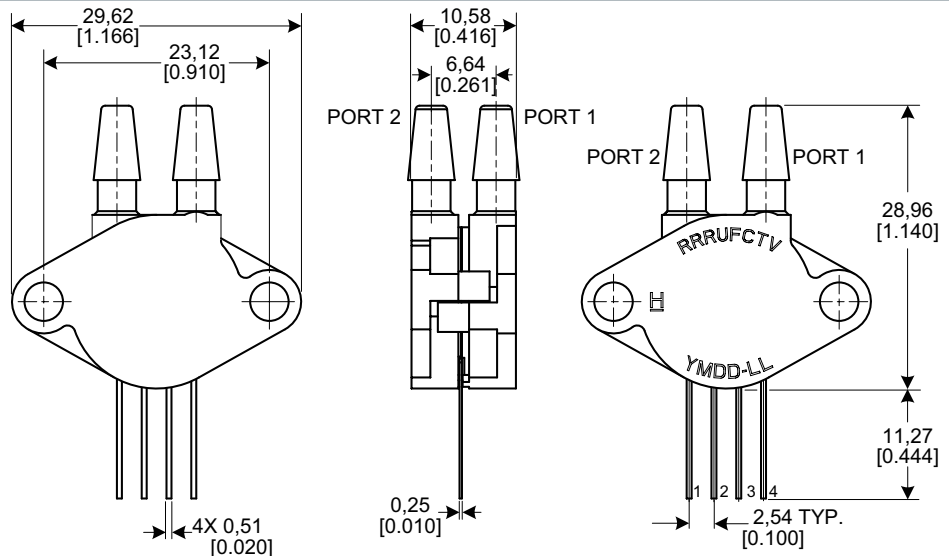
**SIP JN:** Single radial barbless port



**SIP JJ:** Dual radial barbless ports, same side



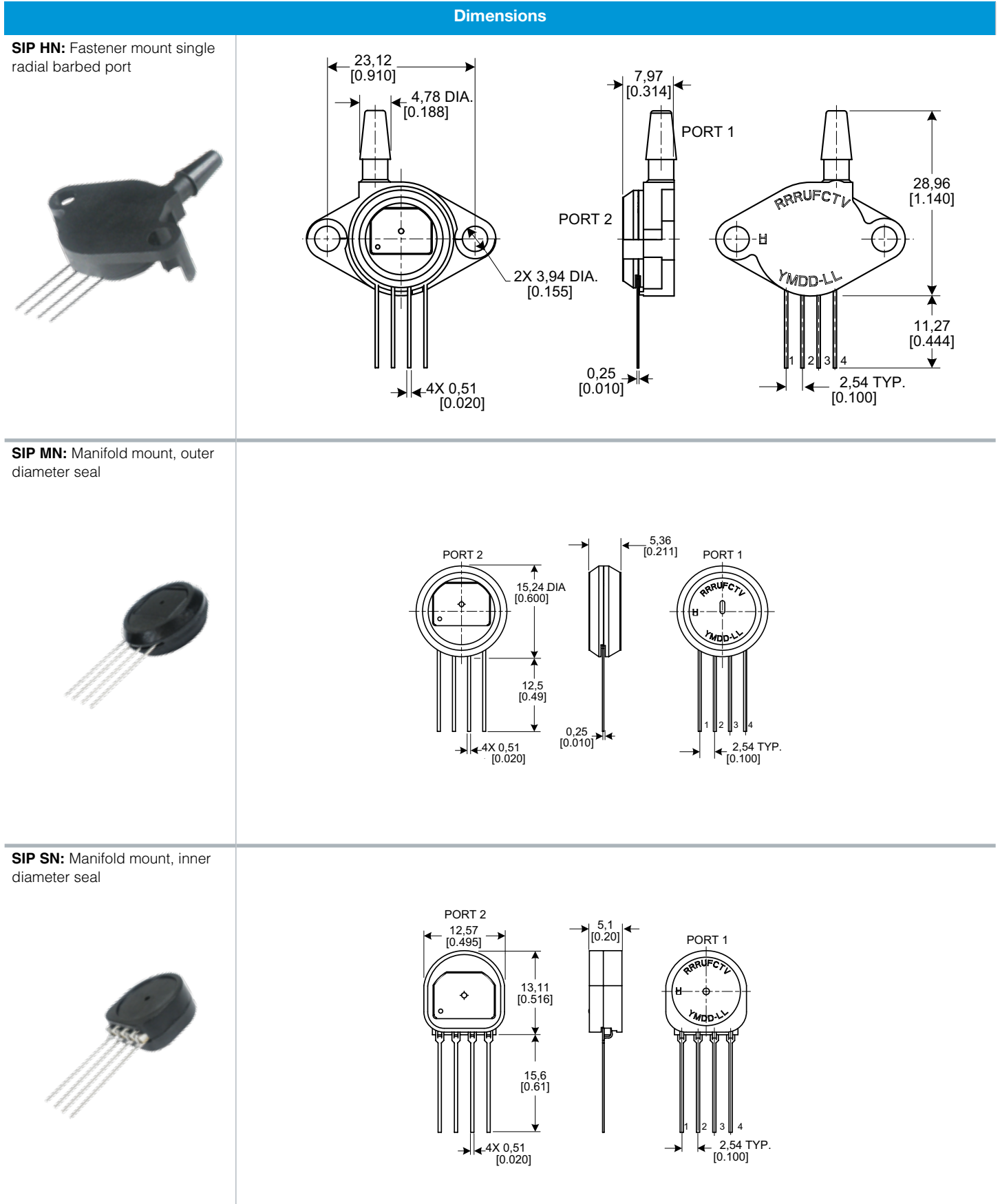
**SIP HH:** Fastener mount dual radial barbed ports, same side



# Dimensional Drawings

## SIP Packages

Figure 8. SIP Package Dimensional Drawings (continued)



# Pinouts, PCB Pad Layout

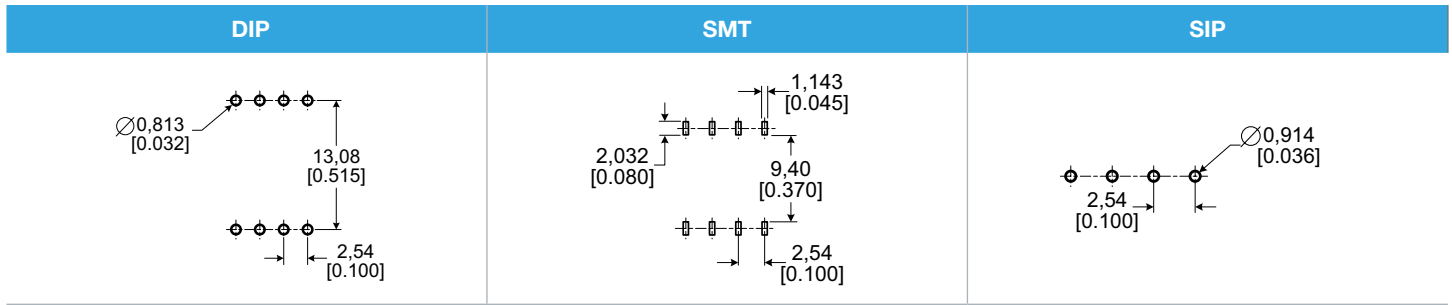
Table 11. Pinouts for DIP and SMT Packages

Output Type	Pin 1	Pin 2	Pin 3	Pin 4	Pin 5	Pin 6	Pin 7	Pin 8
I <sup>2</sup> C	GND	V <sub>supply</sub>	SDA	SCL	NC	NC	NC	NC
SPI	GND	V <sub>supply</sub>	MISO	SCLK	SS	NC	NC	NC
Analog	NC	V <sub>supply</sub>	V <sub>out</sub>	GND	NC	NC	NC	NC

Table 12. Pinouts for SIP Packages

Output Type	Pin 1	Pin 2	Pin 3	Pin 4
I <sup>2</sup> C	GND	V <sub>supply</sub>	SDA	SCL
Analog	NC	V <sub>supply</sub>	V <sub>out</sub>	GND

Figure 9. Recommended PCB Pad Layouts



# TruStability® Board Mount Pressure Sensors Portfolio Overview

Table 13. TruStability® Board Mount Pressure Sensors Portfolio Overview

Characteristic	Series			
	HSC	SSC	TSC	NSC
<b>Package:</b> DIP (Dual In-Line Pin) SMT (Surface Mount Technology) SIP (Single In-Line Pin)	✓ ✓ ✓	✓ ✓ ✓	✓ ✓ ✓	✓ ✓ ✓
<b>Option:</b> dry gases only, no diagnostics (all pressure ranges) dry gases only, diagnostics on (all pressure ranges) liquid media on port 1, no diagnostics (±60 mbar to ±10 bar   ±6 kPa to ±1 MPa   ±1 psi to ±150 psi) liquid media on port 1, diagnostics on (±60 mbar to ±10 bar   ±6 kPa to ±1 MPa   ±1 psi to ±150 psi)	✓ ✓ ✓ ✓	✓ ✓ ✓ ✓	✓ — ✓ —	✓ — ✓ —
<b>Pressure range:</b> <b>Absolute:</b> 1 bar to 10 bar   100 kPa to 1 MPa   15 psi to 150 psi <b>Differential:</b> ±60 mbar to ±10 bar   ±6 kPa to ±1 MPa   ±1 psi to ±150 psi ±1.6 mbar to ±40 mbar   ±160 Pa to ±4 kPa   ±0.5 inH <sub>2</sub> O to ±30 inH <sub>2</sub> O <b>Gage:</b> 60 mbar to 10 bar   6 kPa to 1 MPa   1 psi to 150 psi 2.5 mbar to 40 mbar   250 Pa to 4 kPa   1 inH <sub>2</sub> O to 30 inH <sub>2</sub> O	✓ ✓ ✓ ✓ ✓	✓ ✓ ✓ ✓ ✓	— ✓ — ✓ —	✓ ✓ ✓ ✓ ✓
<b>Temperature compensated</b>	✓	✓	✓	—
<b>Amplified</b>	✓	✓	—	—
<b>Output type:</b> analog digital (SPI and I <sup>2</sup> C)	✓ ✓	✓ ✓	✓ —	✓ —
<b>Transfer function:</b> 10% to 90% of V <sub>supply</sub> (analog), 2 <sup>14</sup> counts (digital) 5% to 95% of V <sub>supply</sub> (analog), 2 <sup>14</sup> counts (digital) 5% to 85% of V <sub>supply</sub> (analog), 2 <sup>14</sup> counts (digital) 4% to 94% of V <sub>supply</sub> (analog), 2 <sup>14</sup> counts (digital)	✓ ✓ ✓ ✓	✓ ✓ ✓ ✓	— — — —	— — — —
<b>Supply voltage:</b> 3.3 Vdc 5.0 Vdc 1.5 Vdc to 12.0 Vdc (for pressure ranges ≥60 mbar   6 kPa   1 psi) 2.7 Vdc to 6.5 Vdc (for pressure ranges ≤40 mbar   4 kPa   20 inH <sub>2</sub> O)	✓ ✓ — —	✓ ✓ — —	— — ✓ —	— — ✓ ✓
<b>Accuracy ≤0.25 %FSS BFSL</b>	✓	✓	✓	✓
<b>Compensated temperature range:</b> -20 °C to 85 °C [-4 °F to 185 °F] 0 °C to 85 °C [32 °F to 185 °F] 0 °C to 50 °C [32 °F to 122 °F]	— — ✓	✓ — —	— ✓ —	— — —
<b>Operating temperature range:</b> -20 °C to 85 °C [-4 °F to 185 °F] -40 °C to 85 °C [-40 °F to 185 °F]	✓ —	— ✓	— ✓	— ✓
<b>Total Error Band:</b> down to ±1% Full Scale Span max. down to ±2% Full Scale Span max.	✓ —	— ✓	— —	— —

## ADDITIONAL INFORMATION

The following associated literature is available at [sensing.honeywell.com](http://sensing.honeywell.com):

- Product line guide
- Product range guide
- Product nomenclature tree
- Installation instructions
- Application information
- Technical notes:
  - I<sup>2</sup>C Communications with Honeywell Digital Output Pressure Sensors
  - SPI Communications with Honeywell Digital Output Pressure Sensors

### **⚠ WARNING** **PERSONAL INJURY**

**DO NOT USE** these products as safety or emergency stop devices or in any other application where failure of the product could result in personal injury.

**Failure to comply with these instructions could result in death or serious injury.**

### **⚠ WARNING** **MISUSE OF DOCUMENTATION**

- The information presented in this product sheet is for reference only. Do not use this document as a product installation guide.
- Complete installation, operation, and maintenance information is provided in the instructions supplied with each product.

**Failure to comply with these instructions could result in death or serious injury.**

## WARRANTY/REMEDY

Honeywell warrants goods of its manufacture as being free of defective materials and faulty workmanship. Honeywell's standard product warranty applies unless agreed to otherwise by Honeywell in writing; please refer to your order acknowledgement or consult your local sales office for specific warranty details. If warranted goods are returned to Honeywell during the period of coverage, Honeywell will repair or replace, at its option, without charge those items it finds defective. **The foregoing is buyer's sole remedy and is in lieu of all other warranties, expressed or implied, including those of merchantability and fitness for a particular purpose. In no event shall Honeywell be liable for consequential, special, or indirect damages.**

While we provide application assistance personally, through our literature and the Honeywell website, it is up to the customer to determine the suitability of the product in the application.

Specifications may change without notice. The information we supply is believed to be accurate and reliable as of this printing. However, we assume no responsibility for its use.

### **Sales and Service**

Honeywell serves its customers through a worldwide network of sales offices, representatives and distributors. For application assistance, current specifications, pricing or name of the nearest Authorized Distributor, contact your local sales office or email us at **info.sc@honeywell.com**. Visit us on the Web at **sensing.honeywell.com**

### **Phone and Fax:**

Asia Pacific	+65 6355-2828
	+65 6445-3033 Fax
Europe	+44 (0) 1698 481481
	+44 (0) 1698 481676 Fax
Latin America	+1-305-805-8188
	+1-305-883-8257 Fax
USA/Canada	+1-800-537-6945
	+1-815-235-6847
	+1-815-235-6545 Fax

Sensing and Control  
Honeywell  
1985 Douglas Drive North  
Golden Valley, MN 55422  
**honeywell.com**

The Honeywell logo is displayed in a bold, red, sans-serif font.

50099148-A-EN IL50  
August 2014  
© 2014 Honeywell International Inc. All rights reserved.



# Mouser Electronics

Authorized Distributor

Click to View Pricing, Inventory, Delivery & Lifecycle Information:

## Honeywell:

[HSCMRNN001BGAA5](#) [HSCMRNN001BG2A5](#) [HSCMRNN001PG2A3](#) [HSCMAND1.6BGSA3](#) [HSCMAND015PASA5](#)  
[HSCMAND030PGAA5](#) [HSCMAND015PA2A3](#) [HSCMAND060PA3A3](#) [HSCMAND150PA4A3](#) [HSCMRRD001PG2A3](#)  
[HSCSAND030PAAA5](#) [HSCSAND100PGAA5](#) [HSCSFFN005PDAA5](#) [HSCSGNN001PGAA5](#) [HSCSHHN060PDAA5](#)  
[HSCSHNN001PGAA5](#) [HSCSHNN150PGAA5](#) [HSCSRRD001PD2A3](#) [HSCSRRD001PG2A3](#) [HSCDANV001PGSA3](#)  
[HSCDANV005PG2A5](#) [HSCDRRV001PD2A3](#) [HSCMAND001PDSA5](#) [HSCMLND001PGSA3](#) [HSCMLND030PD2A3](#)  
[HSCMRND030PD3A3](#) [HSCMRRD001PDSA3](#) [HSCMRRD001PDSA5](#) [HSCMRRD100MDSA3](#) [HSCMRRD400MG2A3](#)  
[HSCSAND015PAAA5](#) [HSCSNBD001PDAA5](#) [HSCMLNN150PGAA5](#) [HSCMRNT100MG2A3](#) [HSCMRNV160MG2A3](#)  
[HSCDDRD025MD2A5](#) [HSCDDRD060MD2A5](#) [HSCDLNN010BASA3](#) [HSCDRRD001PG2A5](#) [HSCDRRD002NDAA5](#)  
[HSCDRRD002NDSA5](#) [HSCDRRN001ND2A3](#) [HSCDRRN001NDAA3](#) [HSCDRRN001NDAA5](#) [HSCDRRN002NDAA5](#)  
[HSCDRRN002NGAA3](#) [HSCDRRN002NGAA5](#) [HSCDRRN005NGAA5](#) [HSCMNNN002NGAA3](#) [HSCMRND100PGSA3](#)  
[HSCMRRD005NDSA5](#) [HSCMRRN002ND2A3](#) [HSCMRRN002NDAA5](#) [HSCMRRN002NDSA3](#) [HSCMRRN005NDAA5](#)  
[HSCSAAN001NDAA5](#) [HSCSDRN001NDAA5](#) [HSCSFFD006MGAA5](#) [HSCSMND004MGAA5](#) [HSCSNBD001NDAA5](#)  
[HSCSRRD001ND2A5](#) [HSCSRRN002NGAA3](#) [HSCMAND060PGAA5](#) [HSCMAND2.5BGAA5](#) [HSCMANT015PGSA5](#)  
[HSCMANT005PGSA5](#) [HSCMANT001PGSA5](#) [HSCDANN005NDAA5](#) [HSCDRRN002NG2A3](#) [HSCDRRN005NDAA3](#)  
[HSCMDRN002NGAA3](#) [HSCMDRN002NGSA3](#) [HSCMDRN004NGAA3](#) [HSCMDRN004NGSA3](#) [HSCMRRD001NDAA5](#)  
[HSCMRRD010NDAA5](#) [HSCMRRD030NDAA5](#) [HSCMRRN001NDAA5](#) [HSCMRRN005ND7A3](#) [HSCSLNN030PAAA5](#)  
[HSCDANN004NGAA5](#) [HSCDANT001PG3A5](#) [HSCDANT001PGAA5](#) [HSCMANT100PG2A5](#) [HSCMANV015PGAA5](#)  
[HSCMLNN001PGAA3](#) [HSCMRRD006MDSA3](#) [HSCMRRN002ND4A3](#) [HSCSFNT250MGAA5](#) [HSCSFNT400MGAA5](#)  
[HSCSNBN001NDAA5](#) [HSCSRRD001NDAA5](#) [HSCDANT015PGSA5](#) [HSCDANT005PGSA5](#) [HSCDANT001PGSA5](#)  
[HSCMRRN001PDAA5](#) [HSCMRRN015PGAA5](#) [HSCMRRN100PGAA5](#) [HSCMRRN030PAAA5](#) [HSCMRRN160MDAA5](#)

# LM35/LM35A/LM35C/LM35CA/LM35D

## Precision Centigrade Temperature Sensors

### General Description

The LM35 series are precision integrated-circuit temperature sensors, whose output voltage is linearly proportional to the Celsius (Centigrade) temperature. The LM35 thus has an advantage over linear temperature sensors calibrated in ° Kelvin, as the user is not required to subtract a large constant voltage from its output to obtain convenient Centigrade scaling. The LM35 does not require any external calibration or trimming to provide typical accuracies of  $\pm 1/4^\circ\text{C}$  at room temperature and  $\pm 3/4^\circ\text{C}$  over a full  $-55$  to  $+150^\circ\text{C}$  temperature range. Low cost is assured by trimming and calibration at the wafer level. The LM35's low output impedance, linear output, and precise inherent calibration make interfacing to readout or control circuitry especially easy. It can be used with single power supplies, or with plus and minus supplies. As it draws only  $60\ \mu\text{A}$  from its supply, it has very low self-heating, less than  $0.1^\circ\text{C}$  in still air. The LM35 is rated to operate over a  $-55^\circ$  to  $+150^\circ\text{C}$  temperature range, while the LM35C is rated for a  $-40^\circ$  to  $+110^\circ\text{C}$  range ( $-10^\circ$  with improved accuracy). The LM35 series is

available packaged in hermetic TO-46 transistor packages, while the LM35C, LM35CA, and LM35D are also available in the plastic TO-92 transistor package. The LM35D is also available in an 8-lead surface mount small outline package and a plastic TO-202 package.

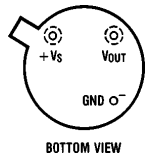
### Features

- Calibrated directly in ° Celsius (Centigrade)
- Linear + 10.0 mV/°C scale factor
- 0.5°C accuracy guaranteeable (at +25°C)
- Rated for full  $-55^\circ$  to  $+150^\circ\text{C}$  range
- Suitable for remote applications
- Low cost due to wafer-level trimming
- Operates from 4 to 30 volts
- Less than  $60\ \mu\text{A}$  current drain
- Low self-heating,  $0.08^\circ\text{C}$  in still air
- Nonlinearity only  $\pm 1/4^\circ\text{C}$  typical
- Low impedance output,  $0.1\ \Omega$  for 1 mA load

LM35/LM35A/LM35C/LM35CA/LM35D  
Precision Centigrade Temperature Sensors

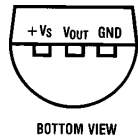
### Connection Diagrams

**TO-46**  
Metal Can Package\*



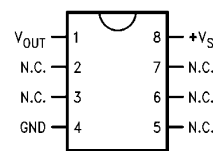
TL/H/5516-1

**TO-92**  
Plastic Package



TL/H/5516-2

**SO-8**  
Small Outline Molded Package



TL/H/5516-2

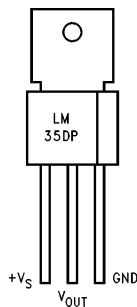
\*Case is connected to negative pin (GND)

Order Number LM35H, LM35AH,  
LM35CH, LM35CAH or LM35DH  
See NS Package Number H03H

Order Number LM35CZ,  
LM35CAZ or LM35DZ  
See NS Package Number Z03A

Order Number LM35DM  
See NS Package Number M08A

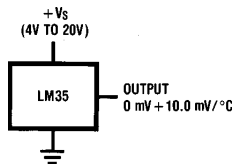
**TO-202**  
Plastic Package



TL/H/5516-24

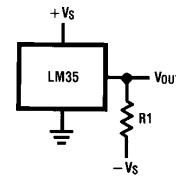
Order Number LM35DP  
See NS Package Number P03A

### Typical Applications



TL/H/5516-3

**FIGURE 1. Basic Centigrade Temperature Sensor (+2°C to +150°C)**



TL/H/5516-4

Choose  $R_1 = -V_S/50\ \mu\text{A}$

$V_{OUT} = +1,500\ \text{mV}$  at  $+150^\circ\text{C}$   
 $= +250\ \text{mV}$  at  $+25^\circ\text{C}$   
 $= -550\ \text{mV}$  at  $-55^\circ\text{C}$

**FIGURE 2. Full-Range Centigrade Temperature Sensor**

TRI-STATE® is a registered trademark of National Semiconductor Corporation.

## Absolute Maximum Ratings (Note 10)

If Military/Aerospace specified devices are required, please contact the National Semiconductor Sales Office/Distributors for availability and specifications.

Supply Voltage	+35V to -0.2V
Output Voltage	+6V to -1.0V
Output Current	10 mA
Storage Temp., TO-46 Package,	-60°C to +180°C
TO-92 Package,	-60°C to +150°C
SO-8 Package,	-65°C to +150°C
TO-202 Package,	-65°C to +150°C

Lead Temp.:

TO-46 Package, (Soldering, 10 seconds)	300°C
TO-92 Package, (Soldering, 10 seconds)	260°C
TO-202 Package, (Soldering, 10 seconds)	+230°C

SO Package (Note 12):

Vapor Phase (60 seconds)	215°C
Infrared (15 seconds)	220°C
ESD Susceptibility (Note 11)	2500V

Specified Operating Temperature Range:  $T_{MIN}$  to  $T_{MAX}$  (Note 2)

LM35, LM35A	-55°C to +150°C
LM35C, LM35CA	-40°C to +110°C
LM35D	0°C to +100°C

## Electrical Characteristics (Note 1) (Note 6)

Parameter	Conditions	LM35A			LM35CA			Units (Max.)
		Typical	Tested Limit (Note 4)	Design Limit (Note 5)	Typical	Tested Limit (Note 4)	Design Limit (Note 5)	
Accuracy (Note 7)	$T_A = +25^\circ\text{C}$	$\pm 0.2$	$\pm 0.5$		$\pm 0.2$	$\pm 0.5$		°C
	$T_A = -10^\circ\text{C}$	$\pm 0.3$			$\pm 0.3$		$\pm 1.0$	°C
	$T_A = T_{MAX}$	$\pm 0.4$	$\pm 1.0$		$\pm 0.4$	$\pm 1.0$		°C
	$T_A = T_{MIN}$	$\pm 0.4$	$\pm 1.0$		$\pm 0.4$		$\pm 1.5$	°C
Nonlinearity (Note 8)	$T_{MIN} \leq T_A \leq T_{MAX}$	<b><math>\pm 0.18</math></b>		<b><math>\pm 0.35</math></b>	<b><math>\pm 0.15</math></b>		<b><math>\pm 0.3</math></b>	°C
Sensor Gain (Average Slope)	$T_{MIN} \leq T_A \leq T_{MAX}$	<b>+10.0</b>	<b>+9.9,</b> <b>+10.1</b>		<b>+10.0</b>		<b>+9.9,</b> <b>+10.1</b>	mV/°C
Load Regulation (Note 3) $0 \leq I_L \leq 1$ mA	$T_A = +25^\circ\text{C}$	$\pm 0.4$	$\pm 1.0$		$\pm 0.4$	$\pm 1.0$		mV/mA
	$T_{MIN} \leq T_A \leq T_{MAX}$	<b><math>\pm 0.5</math></b>		<b><math>\pm 3.0</math></b>	<b><math>\pm 0.5</math></b>		<b><math>\pm 3.0</math></b>	mV/mA
Line Regulation (Note 3)	$T_A = +25^\circ\text{C}$	$\pm 0.01$	$\pm 0.05$		$\pm 0.01$	$\pm 0.05$		mV/V
	$4V \leq V_S \leq 30V$	<b><math>\pm 0.02</math></b>		<b><math>\pm 0.1</math></b>	<b><math>\pm 0.02</math></b>		<b><math>\pm 0.1</math></b>	mV/V
Quiescent Current (Note 9)	$V_S = +5V, +25^\circ\text{C}$	56	67		56	67		$\mu\text{A}$
	$V_S = +5V$	<b>105</b>		<b>131</b>	<b>91</b>		<b>114</b>	$\mu\text{A}$
	$V_S = +30V, +25^\circ\text{C}$	56.2	68		56.2	68		$\mu\text{A}$
	$V_S = +30V$	<b>105.5</b>		<b>133</b>	<b>91.5</b>		<b>116</b>	$\mu\text{A}$
Change of Quiescent Current (Note 3)	$4V \leq V_S \leq 30V, +25^\circ\text{C}$	0.2	1.0		0.2	1.0		$\mu\text{A}$
	$4V \leq V_S \leq 30V$	<b>0.5</b>		<b>2.0</b>	<b>0.5</b>		<b>2.0</b>	$\mu\text{A}$
Temperature Coefficient of Quiescent Current		<b>+0.39</b>		<b>+0.5</b>	<b>+0.39</b>		<b>+0.5</b>	$\mu\text{A}/^\circ\text{C}$
Minimum Temperature for Rated Accuracy	In circuit of Figure 1, $I_L = 0$	+1.5		+2.0	+1.5		+2.0	°C
Long Term Stability	$T_J = T_{MAX}$ , for 1000 hours	$\pm 0.08$			$\pm 0.08$			°C

**Note 1:** Unless otherwise noted, these specifications apply:  $-55^\circ\text{C} \leq T_J \leq +150^\circ\text{C}$  for the LM35 and LM35A;  $-40^\circ\text{C} \leq T_J \leq +110^\circ\text{C}$  for the LM35C and LM35CA; and  $0^\circ\text{C} \leq T_J \leq +100^\circ\text{C}$  for the LM35D.  $V_S = +5\text{Vdc}$  and  $I_{LOAD} = 50 \mu\text{A}$ , in the circuit of Figure 2. These specifications also apply from  $+2^\circ\text{C}$  to  $T_{MAX}$  in the circuit of Figure 1. Specifications in **boldface** apply over the full rated temperature range.

**Note 2:** Thermal resistance of the TO-46 package is  $400^\circ\text{C}/\text{W}$ , junction to ambient, and  $24^\circ\text{C}/\text{W}$  junction to case. Thermal resistance of the TO-92 package is  $180^\circ\text{C}/\text{W}$  junction to ambient. Thermal resistance of the small outline molded package is  $220^\circ\text{C}/\text{W}$  junction to ambient. Thermal resistance of the TO-202 package is  $85^\circ\text{C}/\text{W}$  junction to ambient. For additional thermal resistance information see table in the Applications section.

## Electrical Characteristics (Note 1) (Note 6) (Continued)

Parameter	Conditions	LM35			LM35C, LM35D			Units (Max.)
		Typical	Tested Limit (Note 4)	Design Limit (Note 5)	Typical	Tested Limit (Note 4)	Design Limit (Note 5)	
Accuracy, LM35, LM35C (Note 7)	$T_A = +25^\circ\text{C}$	±0.4	±1.0		±0.4	±1.0		°C
	$T_A = -10^\circ\text{C}$	±0.5			±0.5		±1.5	°C
	$T_A = T_{\text{MAX}}$	±0.8	±1.5		±0.8		±1.5	°C
	$T_A = T_{\text{MIN}}$	±0.8		±1.5	±0.8		±2.0	°C
Accuracy, LM35D (Note 7)	$T_A = +25^\circ\text{C}$				±0.6	±1.5		°C
	$T_A = T_{\text{MAX}}$				±0.9		±2.0	°C
	$T_A = T_{\text{MIN}}$				±0.9		±2.0	°C
Nonlinearity (Note 8)	$T_{\text{MIN}} \leq T_A \leq T_{\text{MAX}}$	± <b>0.3</b>		± <b>0.5</b>	± <b>0.2</b>		± <b>0.5</b>	°C
Sensor Gain (Average Slope)	$T_{\text{MIN}} \leq T_A \leq T_{\text{MAX}}$	+ <b>10.0</b>	+ <b>9.8</b> , + <b>10.2</b>		+ <b>10.0</b>		+ <b>9.8</b> , + <b>10.2</b>	mV/°C
Load Regulation (Note 3) $0 \leq I_L \leq 1 \text{ mA}$	$T_A = +25^\circ\text{C}$	±0.4	±2.0		±0.4	±2.0		mV/mA
	$T_{\text{MIN}} \leq T_A \leq T_{\text{MAX}}$	± <b>0.5</b>		± <b>5.0</b>	± <b>0.5</b>		± <b>5.0</b>	mV/mA
Line Regulation (Note 3)	$T_A = +25^\circ\text{C}$	±0.01	±0.1		±0.01	±0.1		mV/V
	$4\text{V} \leq V_S \leq 30\text{V}$	± <b>0.02</b>		± <b>0.2</b>	± <b>0.02</b>		± <b>0.2</b>	mV/V
Quiescent Current (Note 9)	$V_S = +5\text{V}, +25^\circ\text{C}$	56	80		56	80		μA
	$V_S = +5\text{V}$	<b>105</b>		<b>158</b>	<b>91</b>		<b>138</b>	μA
	$V_S = +30\text{V}, +25^\circ\text{C}$	56.2	82		56.2	82		μA
	$V_S = +30\text{V}$	<b>105.5</b>		<b>161</b>	<b>91.5</b>		<b>141</b>	μA
Change of Quiescent Current (Note 3)	$4\text{V} \leq V_S \leq 30\text{V}, +25^\circ\text{C}$	0.2	2.0		0.2	2.0		μA
	$4\text{V} \leq V_S \leq 30\text{V}$	<b>0.5</b>		<b>3.0</b>	<b>0.5</b>		<b>3.0</b>	μA
Temperature Coefficient of Quiescent Current		+ <b>0.39</b>		+ <b>0.7</b>	+ <b>0.39</b>		+ <b>0.7</b>	μA/°C
Minimum Temperature for Rated Accuracy	In circuit of <i>Figure 1</i> , $I_L = 0$	+1.5		+2.0	+1.5		+2.0	°C
Long Term Stability	$T_J = T_{\text{MAX}}$ , for 1000 hours	±0.08			±0.08			°C

**Note 3:** Regulation is measured at constant junction temperature, using pulse testing with a low duty cycle. Changes in output due to heating effects can be computed by multiplying the internal dissipation by the thermal resistance.

**Note 4:** Tested Limits are guaranteed and 100% tested in production.

**Note 5:** Design Limits are guaranteed (but not 100% production tested) over the indicated temperature and supply voltage ranges. These limits are not used to calculate outgoing quality levels.

**Note 6:** Specifications in **boldface** apply over the full rated temperature range.

**Note 7:** Accuracy is defined as the error between the output voltage and  $10\text{mV}/^\circ\text{C}$  times the device's case temperature, at specified conditions of voltage, current, and temperature (expressed in °C).

**Note 8:** Nonlinearity is defined as the deviation of the output-voltage-versus-temperature curve from the best-fit straight line, over the device's rated temperature range.

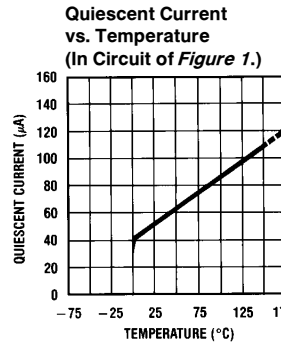
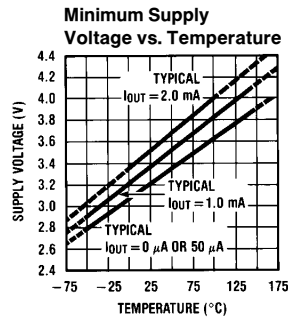
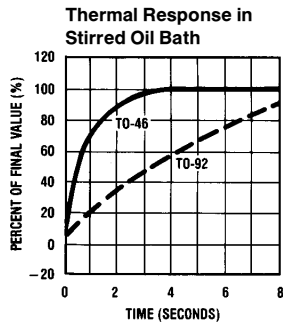
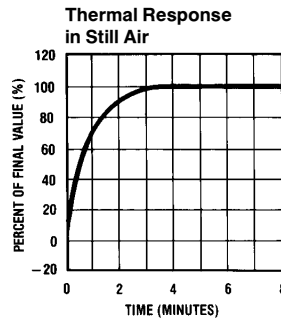
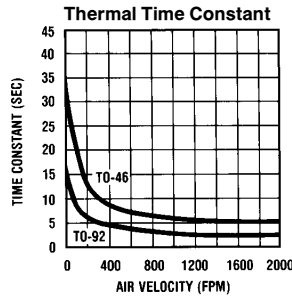
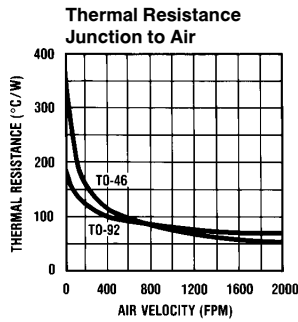
**Note 9:** Quiescent current is defined in the circuit of *Figure 1*.

**Note 10:** Absolute Maximum Ratings indicate limits beyond which damage to the device may occur. DC and AC electrical specifications do not apply when operating the device beyond its rated operating conditions. See Note 1.

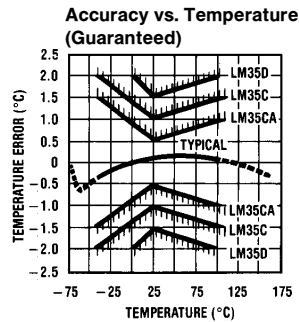
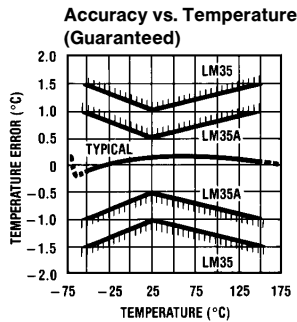
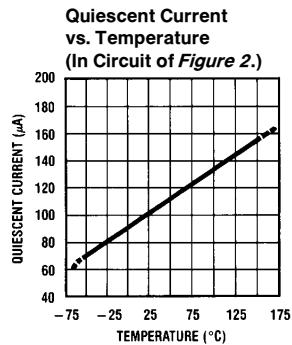
**Note 11:** Human body model, 100 pF discharged through a 1.5 kΩ resistor.

**Note 12:** See AN-450 "Surface Mounting Methods and Their Effect on Product Reliability" or the section titled "Surface Mount" found in a current National Semiconductor Linear Data Book for other methods of soldering surface mount devices.

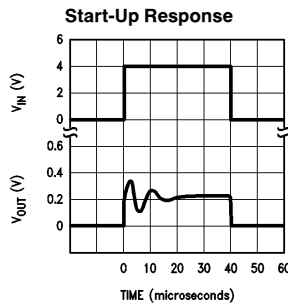
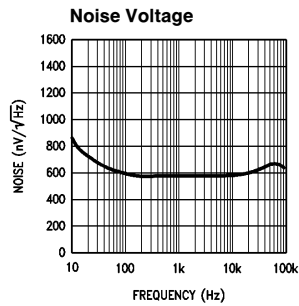
# Typical Performance Characteristics



TL/H/5516-17



TL/H/5516-18



TL/H/5516-22

## Applications

The LM35 can be applied easily in the same way as other integrated-circuit temperature sensors. It can be glued or cemented to a surface and its temperature will be within about 0.01°C of the surface temperature.

This presumes that the ambient air temperature is almost the same as the surface temperature; if the air temperature were much higher or lower than the surface temperature, the actual temperature of the LM35 die would be at an intermediate temperature between the surface temperature and the air temperature. This is especially true for the TO-92 plastic package, where the copper leads are the principal thermal path to carry heat into the device, so its temperature might be closer to the air temperature than to the surface temperature.

To minimize this problem, be sure that the wiring to the LM35, as it leaves the device, is held at the same temperature as the surface of interest. The easiest way to do this is to cover up these wires with a bead of epoxy which will insure that the leads and wires are all at the same temperature as the surface, and that the LM35 die's temperature will not be affected by the air temperature.

The TO-46 metal package can also be soldered to a metal surface or pipe without damage. Of course, in that case the V— terminal of the circuit will be grounded to that metal. Alternatively, the LM35 can be mounted inside a sealed-end metal tube, and can then be dipped into a bath or screwed into a threaded hole in a tank. As with any IC, the LM35 and accompanying wiring and circuits must be kept insulated and dry, to avoid leakage and corrosion. This is especially true if the circuit may operate at cold temperatures where condensation can occur. Printed-circuit coatings and varnishes such as Humiseal and epoxy paints or dips are often used to insure that moisture cannot corrode the LM35 or its connections.

These devices are sometimes soldered to a small light-weight heat fin, to decrease the thermal time constant and speed up the response in slowly-moving air. On the other hand, a small thermal mass may be added to the sensor, to give the steadiest reading despite small deviations in the air temperature.

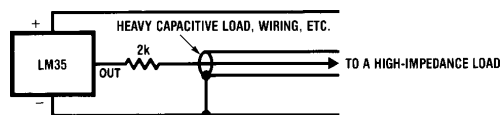
Temperature Rise of LM35 Due To Self-heating (Thermal Resistance)

	TO-46, no heat sink	TO-46, small heat fin*	TO-92, no heat sink	TO-92, small heat fin**	SO-8 no heat sink	SO-8 small heat fin**	TO-202 no heat sink	TO-202 *** small heat fin
Still air	400°C/W	100°C/W	180°C/W	140°C/W	220°C/W	110°C/W	85°C/W	60°C/W
Moving air	100°C/W	40°C/W	90°C/W	70°C/W	105°C/W	90°C/W	25°C/W	40°C/W
Still oil	100°C/W	40°C/W	90°C/W	70°C/W				
Stirred oil	50°C/W	30°C/W	45°C/W	40°C/W				
(Clamped to metal, Infinite heat sink)	(24°C/W)				(55°C/W)		(23°C/W)	

\* Wakefield type 201, or 1" disc of 0.020" sheet brass, soldered to case, or similar.

\*\* TO-92 and SO-8 packages glued and leads soldered to 1" square of 1/16" printed circuit board with 2 oz. foil or similar.

## Typical Applications (Continued)



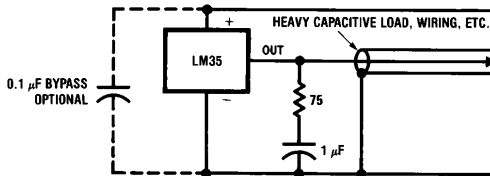
TL/H/5516-19

FIGURE 3. LM35 with Decoupling from Capacitive Load

### CAPACITIVE LOADS

Like most micropower circuits, the LM35 has a limited ability to drive heavy capacitive loads. The LM35 by itself is able to drive 50 pF without special precautions. If heavier loads are anticipated, it is easy to isolate or decouple the load with a resistor; see Figure 3. Or you can improve the tolerance of capacitance with a series R-C damper from output to ground; see Figure 4.

When the LM35 is applied with a 200Ω load resistor as shown in Figure 5, 6, or 8, it is relatively immune to wiring

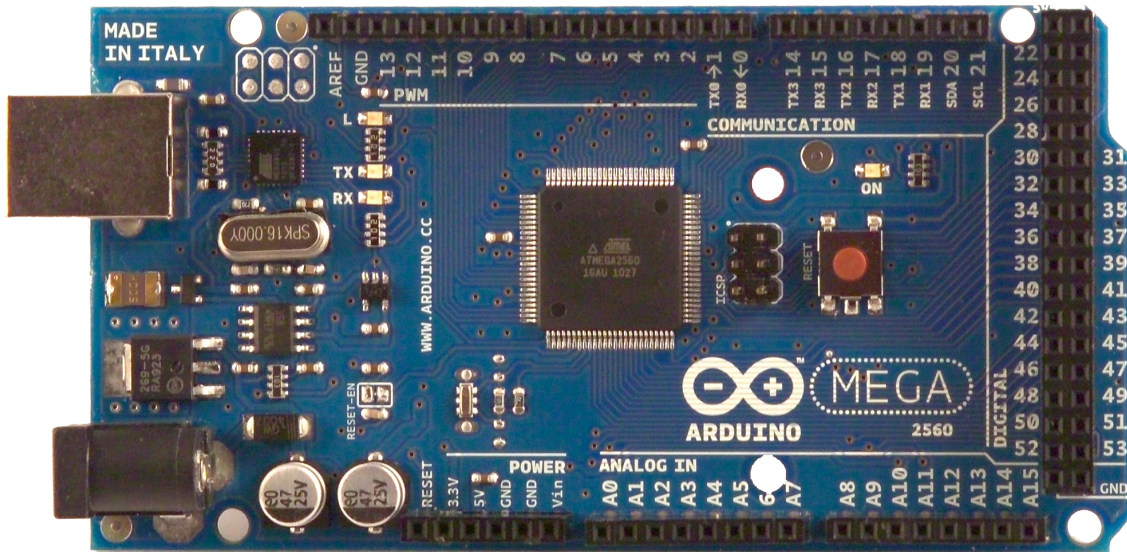


TL/H/5516-20

FIGURE 4. LM35 with R-C Damper

capacitance because the capacitance forms a bypass from ground to input, not on the output. However, as with any linear circuit connected to wires in a hostile environment, its performance can be affected adversely by intense electromagnetic sources such as relays, radio transmitters, motors with arcing brushes, SCR transients, etc. as its wiring can act as a receiving antenna and its internal junctions can act as rectifiers. For best results in such cases, a bypass capacitor from  $V_{IN}$  to ground and a series R-C damper such as 75Ω in series with 0.2 or 1 μF from output to ground are often useful. These are shown in Figures 13, 14, and 16.

# 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 Environment, Basic Tutorials

Page 6

Terms & Conditions

Page 7

Environmental Policies  
half sqm of green via Impatto Zero®

Page 7



**radiospares**

**RADIONICS**



# Technical Specification

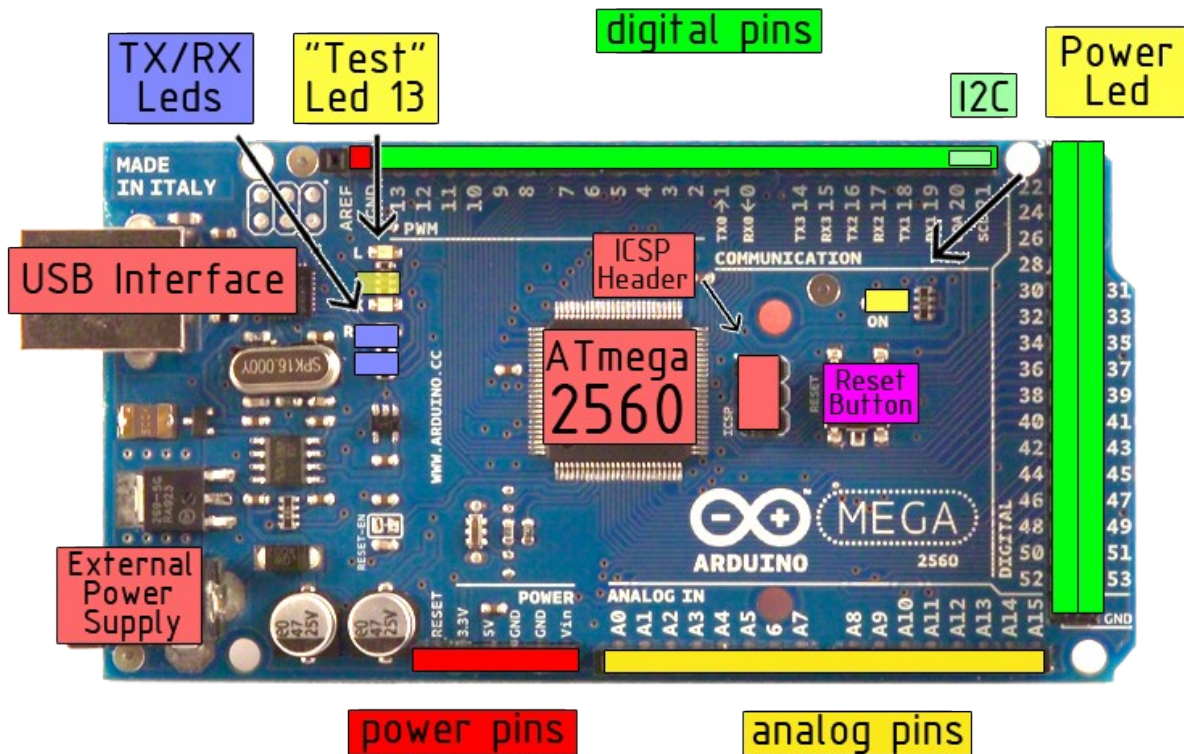


EAGLE files: [arduino-mega2560-reference-design.zip](#) Schematic: [arduino-mega2560-schematic.pdf](#)

## 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.
- **I<sup>2</sup>C: 20 (SDA) and 21 (SCL).** Support I<sup>2</sup>C (TWI) communication using the [Wire library](#) (documentation on the Wiring website). Note that these pins are not in the same location as the I<sup>2</sup>C 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 is it 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.

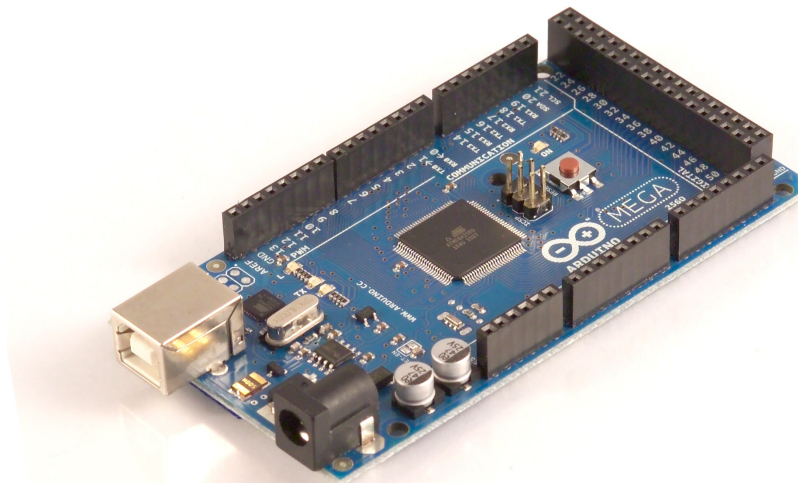
The ATmega2560 also supports I2C (TWI) and SPI communication. The Arduino software includes a Wire library to simplify use of the I2C bus; see the [documentation on the Wiring website](#) for details. To use the SPI communication, please see the ATmega2560 datasheet.

## 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 I<sup>2</sup>C is not located on the same pins on the Mega (20 and 21) as the Duemilanove / Diecimila (analog inputs 4 and 5).**



*radiospares*

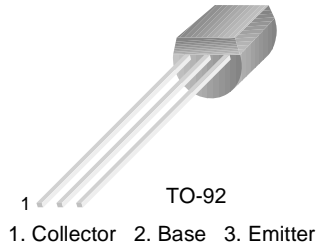
**RADIONICS**



## BC546/547/548/549/550

### Switching and Applications

- High Voltage: BC546,  $V_{CE0}=65V$
- Low Noise: BC549, BC550
- Complement to BC556 ... BC560



### NPN Epitaxial Silicon Transistor

#### Absolute Maximum Ratings $T_a=25^\circ C$ unless otherwise noted

Symbol	Parameter	Value	Units
$V_{CBO}$	Collector-Base Voltage : BC546	80	V
	: BC547/550	50	V
	: BC548/549	30	V
$V_{CEO}$	Collector-Emitter Voltage : BC546	65	V
	: BC547/550	45	V
	: BC548/549	30	V
$V_{EBO}$	Emitter-Base Voltage : BC546/547	6	V
	: BC548/549/550	5	V
$I_C$	Collector Current (DC)	100	mA
$P_C$	Collector Power Dissipation	500	mW
$T_J$	Junction Temperature	150	$^\circ C$
$T_{STG}$	Storage Temperature	-65 ~ 150	$^\circ C$

#### Electrical Characteristics $T_a=25^\circ C$ unless otherwise noted

Symbol	Parameter	Test Condition	Min.	Typ.	Max.	Units
$I_{CBO}$	Collector Cut-off Current	$V_{CB}=30V, I_E=0$			15	nA
$h_{FE}$	DC Current Gain	$V_{CE}=5V, I_C=2mA$	110		800	
$V_{CE(sat)}$	Collector-Emitter Saturation Voltage	$I_C=10mA, I_B=0.5mA$		90	250	mV
		$I_C=100mA, I_B=5mA$		200	600	mV
$V_{BE(sat)}$	Base-Emitter Saturation Voltage	$I_C=10mA, I_B=0.5mA$		700		mV
		$I_C=100mA, I_B=5mA$		900		mV
$V_{BE(on)}$	Base-Emitter On Voltage	$V_{CE}=5V, I_C=2mA$	580	660	700	mV
		$V_{CE}=5V, I_C=10mA$			720	mV
$f_T$	Current Gain Bandwidth Product	$V_{CE}=5V, I_C=10mA, f=100MHz$		300		MHz
$C_{ob}$	Output Capacitance	$V_{CB}=10V, I_E=0, f=1MHz$		3.5	6	pF
$C_{ib}$	Input Capacitance	$V_{EB}=0.5V, I_C=0, f=1MHz$		9		pF
NF	Noise Figure : BC546/547/548 : BC549/550 : BC549 : BC550	$V_{CE}=5V, I_C=200\mu A$		2	10	dB
		$f=1KHz, R_G=2K\Omega$		1.2	4	dB
		$V_{CE}=5V, I_C=200\mu A$		1.4	4	dB
		$R_G=2K\Omega, f=30\sim 15000MHz$		1.4	3	dB

#### $h_{FE}$ Classification

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

# Typical Characteristics

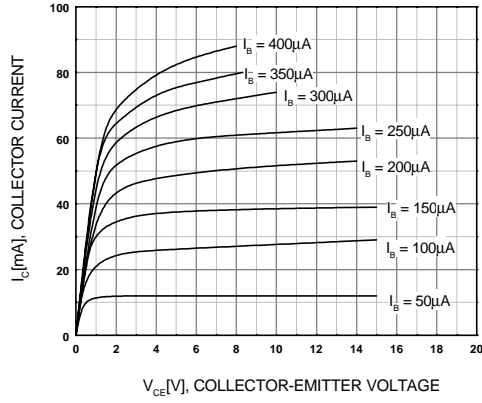


Figure 1. Static Characteristic

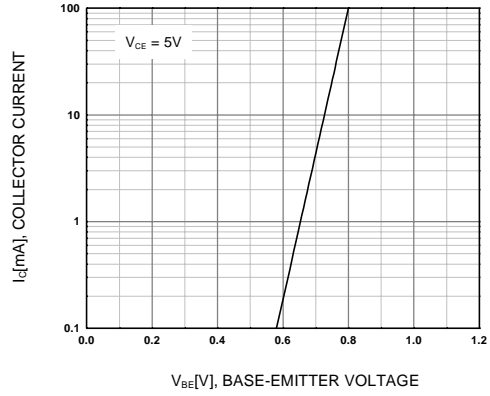


Figure 2. Transfer Characteristic

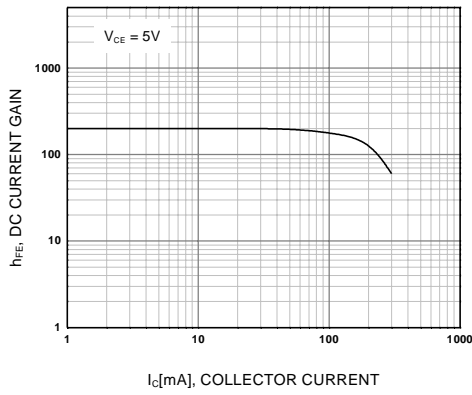


Figure 3. DC current Gain

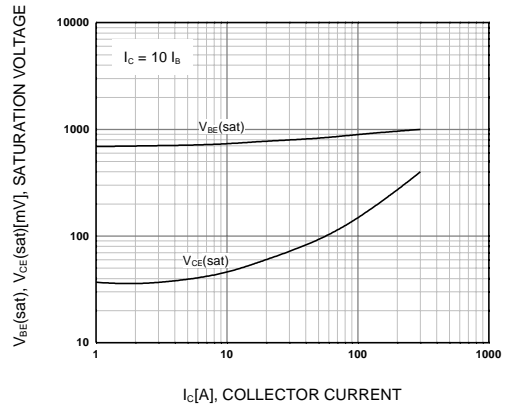


Figure 4. Base-Emitter Saturation Voltage  
Collector-Emitter Saturation Voltage

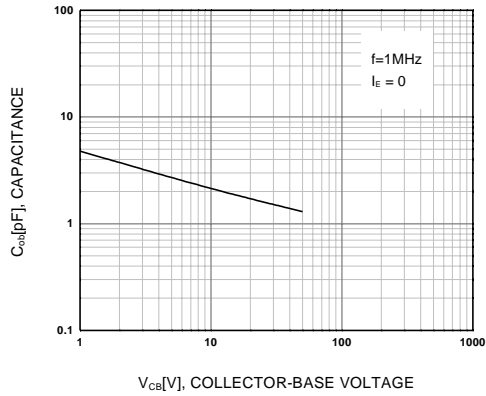


Figure 5. Output Capacitance

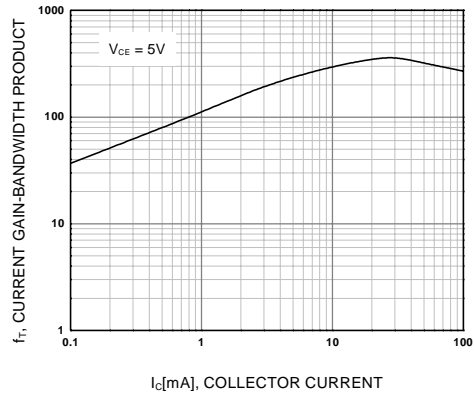
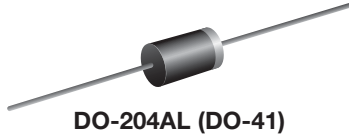


Figure 6. Current Gain Bandwidth Product

### General Purpose Plastic Rectifier



#### FEATURES

- Low forward voltage drop
- Low leakage current
- High forward surge capability
- Solder dip 275 °C max. 10 s, per JESD 22-B106
- Compliant to RoHS Directive 2002/95/EC and in accordance to WEEE 2002/96/EC



**RoHS**  
COMPLIANT

#### TYPICAL APPLICATIONS

For use in general purpose rectification of power supplies, inverters, converters and freewheeling diodes application.

#### Note

- These devices are not AEC-Q101 qualified.

#### MECHANICAL DATA

**Case:** DO-204AL, molded epoxy body  
Molding compound meets UL 94 V-0 flammability rating  
Base P/N-E3 - RoHS compliant, commercial grade

**Terminals:** Matte tin plated leads, solderable per J-STD-002 and JESD 22-B102

E3 suffix meets JESD 201 class 1A whisker test

**Polarity:** Color band denotes cathode end

PRIMARY CHARACTERISTICS	
$I_{F(AV)}$	1.0 A
$V_{RRM}$	50 V to 1000 V
$I_{FSM}$ (8.3 ms sine-wave)	30 A
$I_{FSM}$ (square wave $t_p = 1$ ms)	45 A
$V_F$	1.1 V
$I_R$	5.0 $\mu$ A
$T_J$ max.	150 °C

MAXIMUM RATINGS ( $T_A = 25$ °C unless otherwise noted)									
PARAMETER	SYMBOL	1N4001	1N4002	1N4003	1N4004	1N4005	1N4006	1N4007	UNIT
Maximum repetitive peak reverse voltage	$V_{RRM}$	50	100	200	400	600	800	1000	V
Maximum RMS voltage	$V_{RMS}$	35	70	140	280	420	560	700	V
Maximum DC blocking voltage	$V_{DC}$	50	100	200	400	600	800	1000	V
Maximum average forward rectified current 0.375" (9.5 mm) lead length at $T_A = 75$ °C	$I_{F(AV)}$	1.0							A
Peak forward surge current 8.3 ms single half sine-wave superimposed on rated load	$I_{FSM}$	30							A
Non-repetitive peak forward surge current square waveform $T_A = 25$ °C (fig. 3)	$t_p = 1$ ms	45							A
	$t_p = 2$ ms	35							
	$t_p = 5$ ms	30							
Maximum full load reverse current, full cycle average 0.375" (9.5 mm) lead length $T_L = 75$ °C	$I_{R(AV)}$	30							$\mu$ A
Rating for fusing ( $t < 8.3$ ms)	$I^2t^{(1)}$	3.7							A <sup>2</sup> s
Operating junction and storage temperature range	$T_J, T_{STG}$	- 50 to + 150							°C

#### Note

<sup>(1)</sup> For device using on bridge rectifier application

<b>ELECTRICAL CHARACTERISTICS</b> ( $T_A = 25\text{ }^\circ\text{C}$ unless otherwise noted)										
PARAMETER	TEST CONDITIONS	SYMBOL	1N4001	1N4002	1N4003	1N4004	1N4005	1N4006	1N4007	UNIT
Maximum instantaneous forward voltage	1.0 A	$V_F$				1.1				V
Maximum DC reverse current at rated DC blocking voltage	$T_A = 25\text{ }^\circ\text{C}$	$I_R$				5.0				$\mu\text{A}$
	$T_A = 125\text{ }^\circ\text{C}$					50				
Typical junction capacitance	4.0 V, 1 MHz	$C_J$				15				pF

<b>THERMAL CHARACTERISTICS</b> ( $T_A = 25\text{ }^\circ\text{C}$ unless otherwise noted)										
PARAMETER	SYMBOL	1N4001	1N4002	1N4003	1N4004	1N4005	1N4006	1N4007	UNIT	
Typical thermal resistance	$R_{\theta JA}^{(1)}$				50				$^\circ\text{C/W}$	
	$R_{\theta JL}^{(1)}$				25					

**Note**

(1) Thermal resistance from junction to ambient at 0.375" (9.5 mm) lead length, PCB mounted

<b>ORDERING INFORMATION</b> (Example)				
PREFERRED P/N	UNIT WEIGHT (g)	PREFERRED PACKAGE CODE	BASE QUANTITY	DELIVERY MODE
1N4004-E3/54	0.33	54	5500	13" diameter paper tape and reel
1N4004-E3/73	0.33	73	3000	Ammo pack packaging

**RATINGS AND CHARACTERISTICS CURVES**

( $T_A = 25\text{ }^\circ\text{C}$  unless otherwise noted)

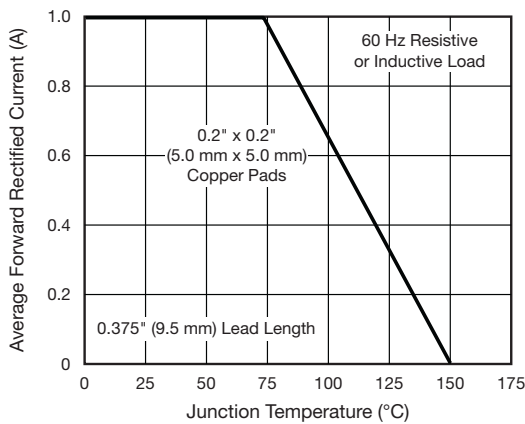


Fig. 1 - Forward Current Derating Curve

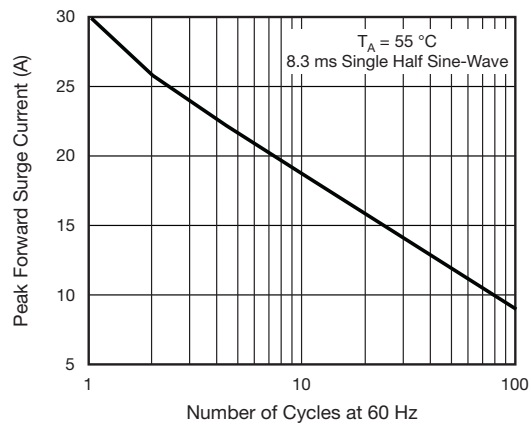


Fig. 2 - Maximum Non-repetitive Peak Forward Surge Current

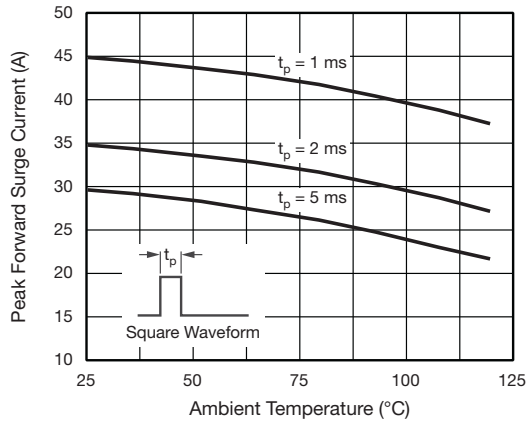


Fig. 3 - Non-Repetitive Peak Forward Surge Current

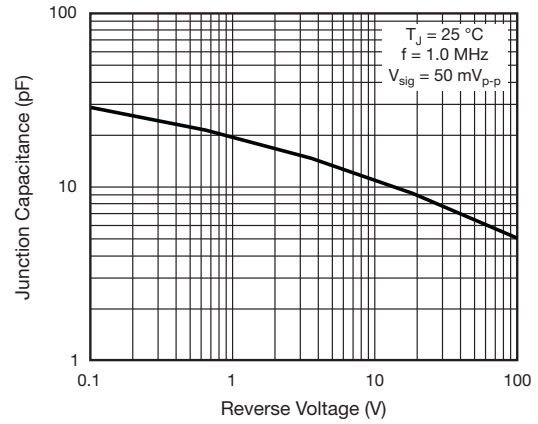


Fig. 6 - Typical Junction Capacitance

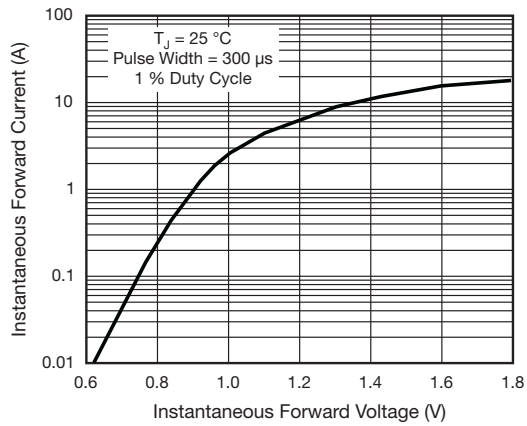


Fig. 4 - Typical Instantaneous Forward Characteristics

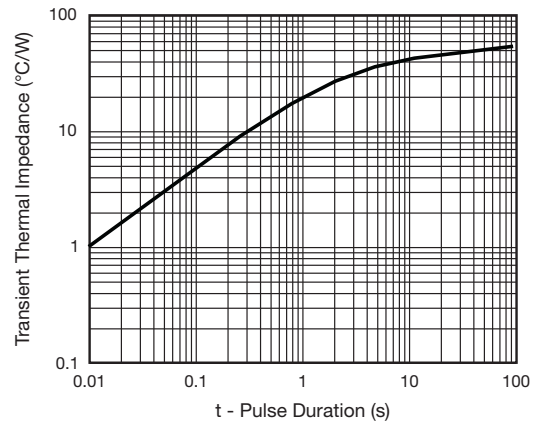


Fig. 7 - Typical Transient Thermal Impedance

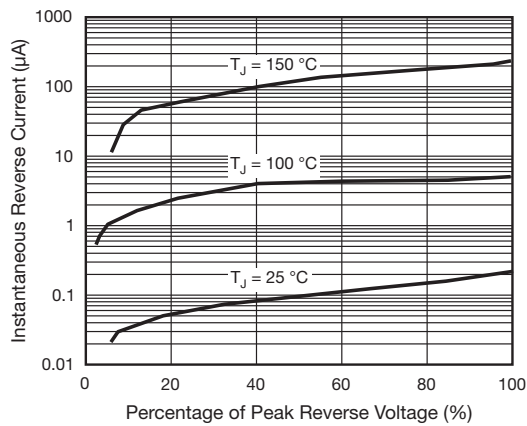
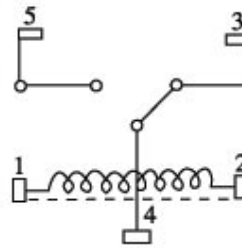


Fig. 5 - Typical Reverse Characteristics



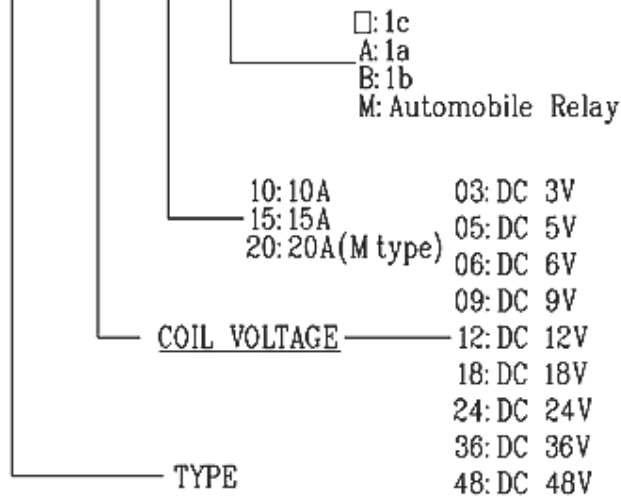
**RAS - RELEVADOR COMPACTO DE 1P/2T**



**CARACTERÍSTICAS**

ORDER CODE

RAS - 12 - 10 - A



- Seguridad aprobada UL, CUR y TUV
- Corriente alta disponible arriba de 15 A, y uno especial de 20 A para uso en automóviles.
- Tipo de sello epóxico y libre de flux.
- Satisface todos los requerimientos de uso en automóviles y aplicaciones eléctricas en casa.

**GRADO DE LA BOBINA  
(A 20°C)**

Voltaje Nominal (VDC)	Resistencia de la Bobina ( $\Omega$ ) (+/- 10%)	Consumo de Energía (W)	Corriente Nominal (mA) (+/- 10%)	Voltaje para el Accionamiento (VDC)	Voltaje de Ruptura (VDC)	Voltaje Máximo Permitido (VDC)
5 V	69 $\Omega$	0.36W	72mA	75% Max.	10% Min.	130%
6 V	100 $\Omega$		60mA			
9 V	225 $\Omega$		40mA			
12 V	400 $\Omega$		30mA			
24 V	1600 $\Omega$		15mA			

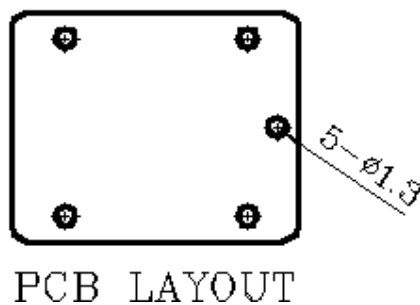
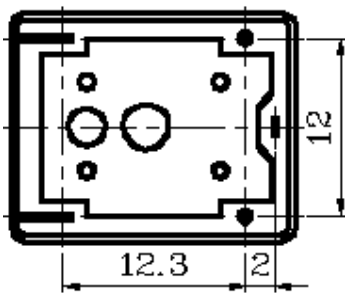
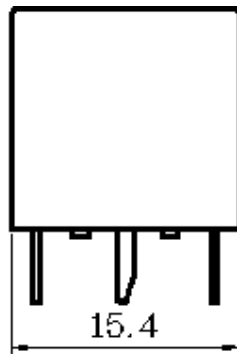
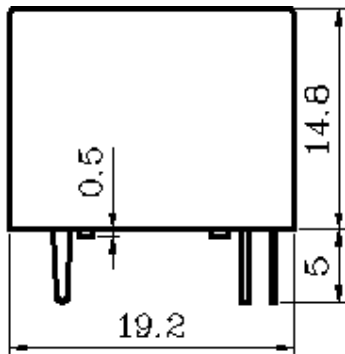
**FUNCIONAMIENTO  
(EN VALOR INICIAL)**

ITEM	TIPO	10 A	15 A	20 A
Resistencia de Contacto		50m $\Omega$ Máx. (valor inicial)		
Tiempo de Operación		10mseg Máx.		
Tiempo de liberación		5mseg Máx.		
Fuerza del Dieléctrico				
Entre bobina y contacto		AC 1500V (1min)		
Entre contacto		AC 750V (1min)		
Resistencia de aislamiento		100M $\Omega$ Min. (DC 500V)		
Temperatura de Operación Ambiente		-30°C ~ +80°C		
Humedad		35% to 85% RH		
Resistencia de Vibración		10G (10~55Hz) (Amplitud dual:1.5mm)		
Resistencia de Choque		10G		
Expectativa de Vida				
Mecánicamente		10,000,000 ops. min. (1800 ops./h)		
Eléctricamente		100,000 ops. Min. (1200 ops./h)		
Peso		9.5g(aprox.)		

**GRADO DE CONTACTO**

ITEM	TIPO	10 A	15 A	20 A
Promedio de Corriente Transmitida		AC 120V 10A AC 250V 7A DC 24V 10A	AC 120V 15A AC 250V 7A DC 24V 10A	AC 120V 10A AC 250V 7A DC 24V 10A
Corriente Máx. Permitida		15A	15A	15A
Voltaje Máx. Permitido		AD 240V DC 110V		
Corriente Máx.. (continua)		10A	15A	20 <sup>a</sup>
Material de Contacto		Aleación de plata		

**DIMENSIONES  
(UNIDAD: mm)**



## Referencias

- [1] Tedeschi, L. O., P. Schofield, and A. N. Pell. , *Determining feed quality for ruminants using in vitro gas production technique. 1. Building an anaerobic fermentation chamber*, 16 p. in The 4th Workshop on Modeling in Ruminant Nutrition: Application of the Gas Production Technique, Juiz de Fora, MG, Brazil. EMBRAPA.2008.
- [2] Huntington, J. A. and D. I. Givens., *The in situ technique for studying the rumen degradation of feeds: A review of the procedure*, Nutrition Abstracts and Reviews (Series B). 65(2):63-93, 1995.
- [3] Nocek, J. E., *In situ and other methods to estimate ruminal protein and energy digestibility: a review*, J. Dairy. Sci. 71:2051-2069., 1988.
- [4] Vanzant, E. S., R. C. Cochran, and E. C. Titgemeyer., *Standardization of in situ techniques for ruminant feedstuff evaluation*, J. Anim. Sci. 76:2717-2729, 1998.
- [5] Goering, H. K. and P. J. Van Soest., *Forage fiber analysis: Apparatus, reagents, procedures, and some applications*, Agric. Handbook. No. 379. ARS, USDA, Washington, DC. 1-20 p, 1970.
- [6] Tilley, J. M. A. and R. A. Terry., *A two-stage technique for the in vitro digestion of forage crops.*, Journal of the British Grassland Society. 18:104-111, 1963.
- [7] Rymer, C., J. A. Huntington, B. A. Williams, and D. I. Givens. *In vitro cumulative gas production techniques: History, methodological considerations and challenges.*, Animal Feed Science and Technology. 123-124:9-30, 2005.
- [8] Pell, A. N. and P. Schofield., *Computerized monitoring of gas production to measure forage digestion in vitro.*, J. Dairy. Sci. 76:1063-1073, 1993.
- [9] *Voltaje Línea Termost, 2 Etapas: RANCO*, <https://www.grainger.com.mx/Todas-las-Categorías/control-de-temperatura-electronico-2-ranco-/p/3ZP82>
- [10] *Definición de Rumiante*, <http://definicion.de/rumiante/>
- [11] *Sensores para la medición de parámetros físicos: Transductores de Presión*, [http://www.sensing.es/Transductores\\_de\\_presion\\_Cm.htm](http://www.sensing.es/Transductores_de_presion_Cm.htm)

- [12] *Magnetismo: campo magnético.*, [http://www.quimicaweb.net/grupo\\_trabajo\\_fyq3/tema9/index9.htm](http://www.quimicaweb.net/grupo_trabajo_fyq3/tema9/index9.htm)
- [13] Blummel M., Orskov E.R. *Comparison of in vitro gas production and nylon bag degradability of roughages in predicting of food intake in cattle.*, Anim. Feed. Sci. Technol., 40, 109-119, 1993.
- [14] *Encender un Foco con Arduino*, <https://underc0de.org/foro/arduino-raspberry-pi/encender-un-foco-con-arduino/>