



UNIVERSIDAD DE MENDOZA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
INSTITUTO DE BIOINGENIERÍA

---

## Fitoseñales Eléctricas

---

### TRABAJO PRÁCTICO INTEGRADOR

***Alumnos:***

IANARDI JULIÁN

NALDINI FRANCO

***Profesores:***

Bioing. María Silvina MOYANO

Bioing. Gabriel QUINTERO

Dr.Bioing. Pablo TERUYA

Cohorte 2022



## **Resumen**

Es de público conocimiento que las plantas son organismos vivos fotosintéticos, sin embargo, desde hace no más de dos décadas se descubrió, que al igual que los seres humanos, existen variedades de plantas que producen señales eléctricas como respuesta a diferentes tipos de estímulos externos tales como la disponibilidad de agua, daños físicos, plagas, etc. Estas señales de baja amplitud provienen de los cambios químicos en la savia, de la despolarización celular y del transporte de iones.

El siguiente trabajo busca diseñar y confeccionar un dispositivo capaz de medir y exhibir dichas señales en tiempo real.

# Índice general

<b>1. Introducción</b>	<b>7</b>
1.1. Anatomía y morfología de una planta . . . . .	7
1.1.1. Sistema radical . . . . .	7
1.1.2. Sistema caulinar . . . . .	8
1.2. Fisiología vegetal . . . . .	11
1.3. Descripción del problema de medición . . . . .	12
1.4. Estado del Arte . . . . .	13
<b>2. Objetivos</b>	<b>15</b>
<b>3. Diseño del dispositivo</b>	<b>17</b>
3.1. Hardware . . . . .	17
3.1.1. Diagrama en bloques . . . . .	17
3.1.2. Circuitos esquemáticos . . . . .	21
3.1.3. Esquemas físicos . . . . .	22
3.2. Software . . . . .	22
3.2.1. Diagrama de flujo . . . . .	22
3.2.2. Exhibición de resultados . . . . .	23
<b>4. Cuaderno de Campo</b>	<b>27</b>
<b>5. Conclusiones</b>	<b>35</b>
<b>6. Trabajo futuro</b>	<b>37</b>
<b>Bibliografía</b>	<b>39</b>
<b>7. Paper</b>	<b>41</b>
<b>8. Poster</b>	<b>47</b>
<b>9. Manual de usuario</b>	<b>49</b>
<b>Apéndices</b>	<b>51</b>
<b>A. Data Sheet</b>	<b>53</b>



# Introducción

## 1.1. Anatomía y morfología de una planta

La planta está compuesta por dos sistemas bien diferenciados entre sí: Un sistema aéreo que es el caulinar y un sistema subterráneo que es el radical.

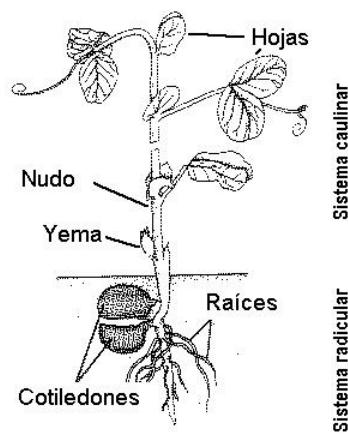


Figura 1.1: Partes de la planta

[1]

### 1.1.1. Sistema radical

Lo componen la raíz y sus ramificaciones.

**Raíz:** Es el órgano encargado de la absorción y almacenamiento de agua y nutrientes, además le proporciona a la planta anclaje al suelo. Su estructura se subdivide en dos:

*Estructura externa:* Compuesta por el cuello, zona de ramificación, zona pilífera, zona de diferenciación, zona de elongación, meristema apical y cofia.

- Cuello: Sitio de unión entre la raíz y el tallo de la planta.
- Zona Pilífera: Región en donde se ubican los pelos encargados de la absorción de agua y de nutrientes.
- Zona de diferenciación: Lugar en la que los tejidos meristemáticos (relacionados con el crecimiento de las plantas) dan origen a las raíces.

- Zona de elongamiento: Lugar en el cual se encuentran las células meristemáticas, encargadas del crecimiento en longitud de la raíz.
- Meristema apical: Ubicado casi en el final de la raíz, contiene al igual que en la zona de elongamiento, células meristemáticas encargadas del crecimiento en longitud de la raíz.
- Cofia: Estructura en forma de cono que protege a la raíz.

*Estructura interna:* Depende del tipo de planta y de la etapa de desarrollo en la cual se encuentra la misma.

Con respecto a la etapa del desarrollo tenemos: Estructura interna del cuerpo primario, la cual se forma a partir de la germinación, constituida por las siguientes partes:

- Epidermis: Se encarga de la protección externa de la raíz. Si esta contiene pelos, tambien se encargará de la absorción de agua y nutrientes.
- Cortex: Compuesto por la endodermis, exodermis y el parénquima cortical, el cual se engarga del almacenamiento de sustancias de reserva.
- Estela: Constituye el cilindro central del cuerpo primario de la raíz. A su vez esta se subconstituye por tejidos vasculares primarios y la médula.

Si la planta en consideración pertenece a la categoría de dicotiledóneas, es decir, aquellas que tienen dos cotiledones (hojas embionarias), tenemos también **estructura interna del cuerpo secundario**. Esta última es posible solo en las plantas dicotiledóneas leñosas y le permite a la planta el crecimiento secundario de su raíz, tanto en longitud, como en espesor.

[2]

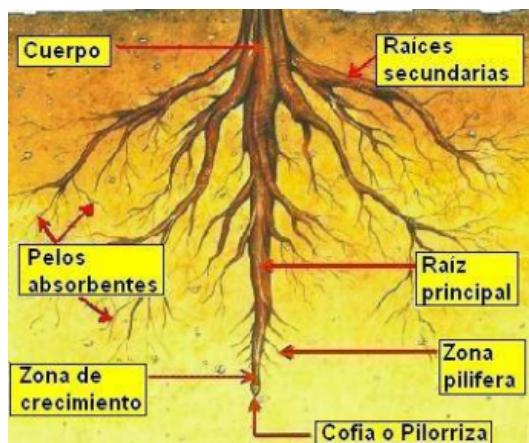


Figura 1.2: Partes de la raíz

[3]

### 1.1.2. Sistema caulinar

Constituido por el tallo, la hoja, la flor y el fruto.

**El tallo:** Órgano de sostén para las ramas, hojas y flores de la planta, a diferencia de las raíces este cuenta con un geotropismo negativo, lo que quiere decir que crece en dirección opuesta a la dirección de la gravedad. Dependiendo del tipo de planta que se trate va a ser su tamaño, forma y espesor.

*Estructura externa del tallo:* Conformada por los nudos, entrenudos, yemas y lenticelas.

- Nudos: Lugares en los cuales se desarrollan las hojas.
- Entrenudos: Espacio que separa dos nudos.
- Yemas: Son aquellas partes de las plantas que contienen células de crecimiento. Pueden encontrarse en los extremos del tallo principal (yema apical), en las axilas formadas por la unión del tallo y de la hoja (yema axilar).
- Lenticela: Poros mediante los cuales el tallo de la planta intercambia gases con el medio externo.

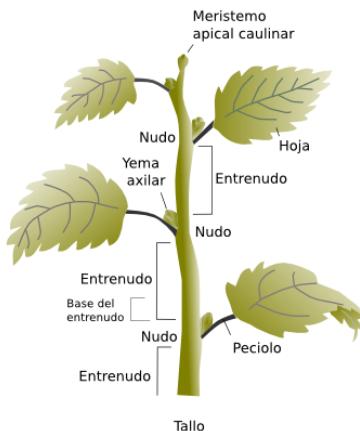


Figura 1.3: Partes del tallo

[4]

*Estructura interna del tallo:* La siguiente descripción aplica a los tallos de las plantas monocotiledóneas y dicotiledóneas.

- Epidermis: Región más externa del tallo.
- Cortex: Se extiende desde la epidermis hasta la región externa del haz vascular.
- Estela: Zona central del tallo, está compuesta por tejidos vasculares primarios.
- Parénquima interfascicular: Parte del parénquima que comunica dos haces vasculares.

**La hoja:** Es el órgano de la planta encargado de la fotosíntesis y de la transpiración, entre otras funciones, a través de la última controla la liberación de agua y evita que la misma sea excesiva. Contiene una estructura externa constituida por el pecíolo y el limbo, a su vez este último está integrado por el ápice, borde, base y nervaduras.

- Pecíolo: Lugar donde la hoja se une con el tallo principal o las ramas de la planta.



Figura 1.4: Estructura interna de la hoja

[5]

- Limbo: Región laminar de la hoja. Hacia el final de este se encuentran las nervaduras.

En cuanto a la estructura interna de la hoja, esta se puede observar al realizar un corte transversal: Se observan las siguientes partes de la estructura interna:

- Epidermis: Una sola capa de células constituye la capa epidérmica que protege a la hoja. Dentro de esta podemos encontrar células comunes, oclusivas, que son las encargadas del intercambio gaseoso y células adyacentes o subsidiarias.
- Mesófilo: Este tejido es el que más abunda en la planta, su principal función es la fotosíntesis.
- Nerveduras: Sistema vascular por donde circula el agua, las sales y compuestos orgánicos desde las células fotosintetizadoras al resto de la planta.

**La flor:** Es la estructura que se encarga de la reproducción sexual de las plantas espermatofitas, es decir aquellas que producen semillas. Tiene crecimiento limitado y hojas modificadas.

Una flor común se compone de las siguientes partes:

- Pendúnculo: Tallo de pequeñas dimensiones que une a la flor con el cuerpo principal.
- Receptáculo floral: Región final del pendúnculo en el cual se encuentran los verticilos florales, es decir, el cáliz, la corola, el androceo y el giniceo.
- Cáliz: Parte de la flor en la que se encuentran los sépalos, estructuras con forma de hoja que protegen a la yema floral.
- Corola: Estructura que contiene a los pétalos, los cuales son los encargados de atraer a los insectos polinizadores, varían dependiendo del tipo de planta.
- Androceo: Parte de la flor que contiene a los órganos reproductores masculinos, denominados estambres. A su vez esto se constituyen de un filamento y la antera, que es la que contiene el pólem.
- Giniceo: Parte de la flor que contiene los órganos reproductores femeninos, está formada por los pistilos que a su vez forman los carpelos.

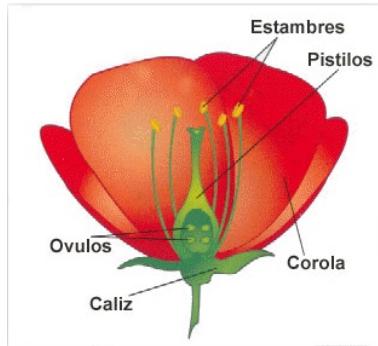


Figura 1.5: Partes de la flor

[6]

**El fruto:** Una vez que el óvulo es fecundado y en él se formaron las semillas, el gineceo se sigue desarrollando y da lugar al fruto. Este se constituye por 3 partes:

- Epicarpo: Es la capa más externa, dependiendo de la planta puede ser lisa, cerosa, o glandulosa.
- Mesocarpo: Capa intermedia. Puede ser delgado y seco, o seguirse desarrollando y dar lugar a frutos carnosos,
- Endocarpo: Capa más interna.

[2]

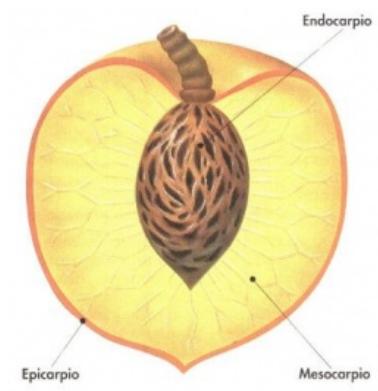


Figura 1.6: Partes de un fruto

[7]

## 1.2. Fisiología vegetal

La onda de descarga eléctrica que se produce en las membranas de las células de las plantas, como consecuencia de un gradiente de concentración y un intercambio de iones es similar a la que se produce en el cuerpo humano, con la diferencia de que en este último se utilizan canales y flujos de potasio-sodio mientras que el potencial de acción de las plantas usa iones de calcio y potasio.

En las plantas este potencial de acción viaja a través del floema, el cual es un tejido especializado en el transporte de sustancias nutritivas, desde las hojas hacia la raíz y viceversa.

Un reciente proyecto denominado PLANTELEXIGNAL llevado a cabo con fondos europeos descubrió canales de sodio llamados **ATK2** y **GORK**, los mismos son proteínas que se encuentran en las paredes de las células vegetales. Estas son indispensables para el mantenimiento del potencial de acción y por lo tanto son importantes para entender el origen de la señal eléctrica que se desea medir con nuestro dispositivo.

A través del canal ATK2 se controla la probabilidad de salto del potencial a células adyacentes y mientras que el GORK actúa en la conformación de la señal eléctrica, tanto en la longitud como en la amplitud.

[8]

### 1.3. Descripción del problema de medición

Dado que las fitoseñales eléctricas no han sido muy ampliamente estudiadas, es poca la información que se puede obtener con respecto a las características de las mismas. La señal que se busca captar con el dispositivo tiene una amplitud que puede variar entre 5mV a 50 mV y con frecuencias que pueden estar en el rango desde los 0.5 a los 100 hz dependiendo del tipo de planta en estudio. A continuación se presentará un diagrama que representa el equivalente eléctrico de la interfase planta-electrodo:

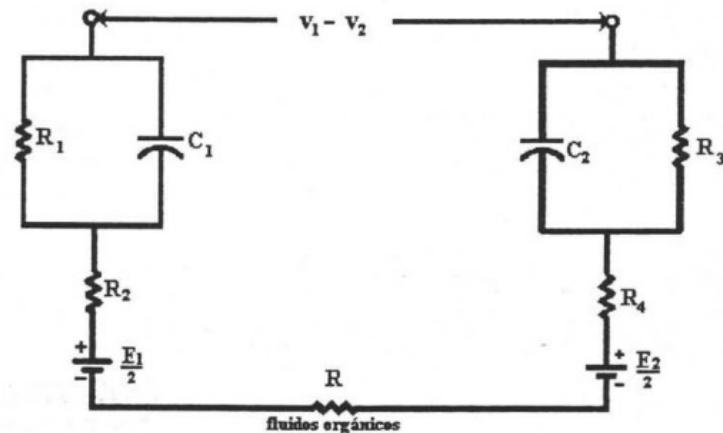


Figura 1.7: interfase electrodo-electrolito

Como se puede observar se presentan los circuitos equivalentes para los dos electrodos que detectarán las diferencias de potenciales en las distintas partes de la planta. En la región inferior del esquema se encuentra la interfaz eletctrodo-electrolito representada a partir de un potencial de pila ( $E1/2$ ;  $E2/2$ ) proporcional al intercambio de iones entre el metal y la planta. La capa de carga de la interfaz actúa como condensador, así el circuito equivalente del electrodo para el biopotencial de contacto consiste en una tensión en serie con una red Resistencia/Condensador del tipo mostrado en la figura.

En este circuito podemos observar 4 problemas principales: 1) La amplitud de señal que se busca caracterizar es extremadamente pequeña, por lo que es necesario pasarla por un procesado tal que nos entregue magnitudes observables.

2) Dado que la magnitud que se está sensando es diferencial, lo primero que se puede pensar es que ante cualquier diferencia entre E1 y E2 existe un potencial continuo que no es parte de la señal buscada y que se monta sobre la misma. En principio esto no debería pasar ya que ambos electrodos son iguales y el electrolito sobre el que se colocan tambien debería serlo. Sin embargo en la práctica , dado que la construcción de los electrodos no es perfecta, este offset se puede percibir.

3) La resistencia de contacto que existe en la interfase por lo general es muy elevada, obligandonos a colocar una resistencia de entrada al amplificador que sea al menos 2 ordenes mayor a la misma. Esto implica utilizar amplificadores con una muy alta impedancia de entrada.

4) En la práctica este proceso se realiza en ambientes con una alta presencia de ruido electro-magnetico con amplitudes lo suficientemente altas como para enmascarar nuestra señal, es por esto que necesitamos encontrar un método para evitar el ingreso del mismo en nuestro dispositivo.

## 1.4. Estado del Arte

Dado que el área de la neurofisiología vegetal es muy actual, existen pocos estudios llevados a cabo con el fin de detectar estas señales. Se pueden encontrar distintas aproximaciones a dispositivos de medición de señales muy básicos, pero que carecen de un verdadero tratamiento de las señales a estudiar.

En general encontramos que todos los estudios que se han llevado a cabo, constan de electrodos en distintas partes de la planta que se conectan directamente a un osciloscopio o conversor de señales A/D. Uno de los puntos más importantes en estos dispositivos es los electrodos que se utilizan:

Entre los estudios más recientes se encuentra el del ingeniero Luis A. Gurovich junto con su residente Macarena Cano publicado en la revista Agronomia y Forestal n°36 del año 2009; en este estudio se utilizó un electrodo de aguja relleno de KCl y dentro del cual se encuentra un alambre de plata clorada en una solucion de HCl para obtener un electrodo de Ag/AgCl. Estos electrodos se conectan en distintas partes de la planta para monitorerar los potenciales eléctricos entre ellos, colocando desde el ápice hasta la base la cantidad de electrodos necesarios. Las señales obtenidas se amplifican y se conectan directamente en un osciloscopio. Como se observa, los electrodos utilizados son específicos para el proceso.

Existe otro estudio llevado a cabo por el dr Julio Alcayaga en la Universidad Católica de Chile en el año 2007, donde en este caso utilizaron como electrodo un hilo grueso de algodón sumergido en un tubo lleno de KCl, en dicho tubo se sumergía un electrodo de Ag/AgCl. Para este caso los electrodos fueron conectados a un amplificador el cual introducía la señal en un sistema de adquisición comercial.

Por último, un trabajo que merece la pena destacar es el llevado a cabo por la Universidad Tecnológica de Singapur, en donde un equipo de trabajo liderado por Chen Xiadong desarrolló un dispositivo capaz de medir la actividad eléctrica de la planta Venus atrapamoscas y también capaz de enviarle señales eléctricas a esta. Este proyecto se realizó con el objetivo de poder entender cómo responde esta planta en su entorno. Los resultados fueron publicados en la revista Nature Electronics.



# **Objetivos**

## **Objetivos generales**

- Desarrollar un dispositivo capaz de medir las señales eléctricas producidas en plantas bajo determinados estímulos.
- Integrar los conocimientos y habilidades específicos aprendidos en las asignaturas cursadas hasta cuarto año de la carrera.

## **Objetivos específicos**

- Realizar la interfaz necesaria para adquirir la señal eléctrica proveniente de la planta.
- Acondicionar la señal con el fin de poder introducirla en un conversor A/D.
- Presentar la señal en una interfaz comprensible para el usuario a través de una computadora.
- Determinar la existencia de una correlación entre los estímulos aplicados a la planta con su respuesta eléctrica correspondiente.



# Diseño del dispositivo

## 3.1. Hardware

### 3.1.1. Diagrama en bloques

En la siguiente figura se observa el diagrama de bloques en donde se muestra de manera gráfica el funcionamiento interno del sistema asociado al dispositivo.

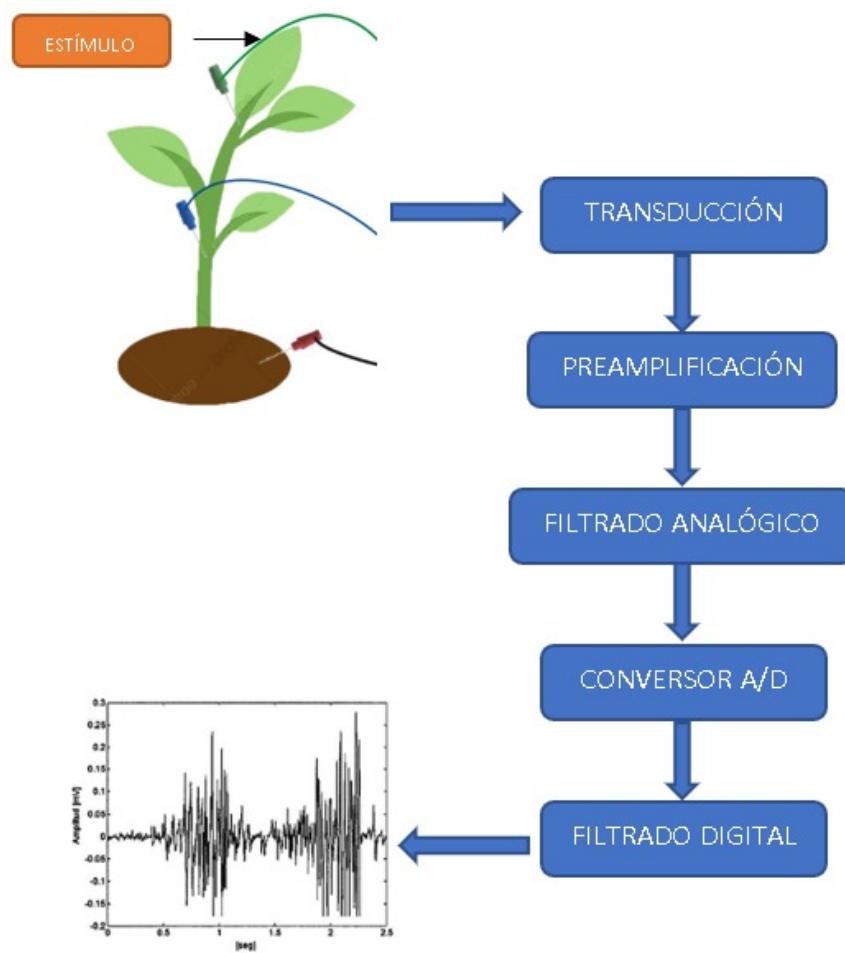


Figura 3.1: Diagrama en bloques del hardware asociado al dispositivo.

## TRANSDUCCIÓN:

En este bloque se desarrollaron distintas opciones de transductores, en los cuales se evaluó las diferencias de funcionamiento entre los electrodos de contacto convencionales (Ag-AgCl) y los electrodos de aguja. Se observó que los electrodos de aguja consiguen una señal de mayor amplitud que los de contacto, por lo que se decidió trabajar con los primeros.

Dado el alto coste que tienen los electrodos de aguja se estudiaron dos opciones:

- 1) Utilizar hilos de plata como electrodo e introducirlos directamente en la planta
- 2) Fabricar un electrodo no tóxico que sea capaz de sensar el movimiento de iones y que sea de bajo coste.

En última instancia se optó por el desarrollo de un electrodo a partir de agujas de acero quirúrgico a las cuales se les soldó conductores de cobre a través de distintos métodos. Para la ejecución de la soldadura fue necesario someter al acero a una solución ácida capaz de eliminar la capa de óxido que genera el cromo para evitar la corrosión y que no permite la adhesión del estaño en él. A través del ácido, las altas temperaturas y fuerza mecánica se logra la soldadura con el conductor que se conectará al amplificador.



Figura 3.2: Electrodo soldado con estaño, ácido y calor



Figura 3.3: Electrodo soldado con calor y prensado mecánico

#### PREAMPLIFICADOR:

En este bloque encontramos un amplificador de instrumentación el cual otorga las características necesarias para la obtención de la señal:

1) Posee una alta ganancia, la cual se puede variar a través de una resistencia entre sus pines 1 y 8. Esta ganancia es necesaria ya que estamos sensando señales de ordenes de los milivoltios las cuales no se pueden digitalizar con estas amplitudes.

Para este caso en específico se ha utilizado una ganancia de 150 a través de una resistencia de 4.7k ohm que es un valor comercial posible de conseguir en el mercado.

$$G = 100 + \frac{250 \text{ k}\Omega}{R_G}$$

Figura 3.4: Cálculo de la ganancia

2) Al ser un amplificador de instrumentación está caracterizado por un alto rechazo en modo común, con el cual se logra eliminar todo aquel ruido que se introduzca por electrodos y conductores de forma común.

3)Por último este dispositivo posee una resistencia de entrada muy elevada la cual evita cargar a la fuente y perder potencia en la señal. Es necesario que la resistencia de entrada del preamplificador sea de por lo menos 2 ordenes mayor a la resistencia de contacto que tienen los electrodos.

### FILTRADO ANALÓGICO:

En esta etapa buscamos eliminar principalmente las señales indeseadas que se filtran a través de la alimentación del Arduino y el ruido electromagnético. La mayor parte de estas señales son de alta frecuencia por lo que para deshacernos de las mismas realizamos un filtro pasa bajo analógico y pasivo de primer orden.

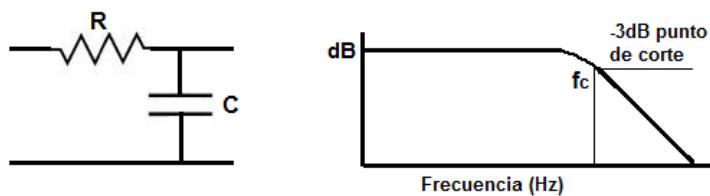


Figura 3.5: Filtro pasa bajo analógico

El filtro consta de una resistencia de 10kOhm junto con un capacitor de 56nF, con estos dos componentes logramos una frecuencia de corte de 280hz.

### CONVERSOR A/D:

Como conversor A/D se utiliza un Arduino UNO el cual nos permite digitalizar la señal analógica para poder visualizarla en una computadora y así luego poder aplicar el filtrado digital.

### FILTRADO DIGITAL:

El filtrado digital tiene como objetivo eliminar el ruido proveniente de la tensión de línea el cual es de 50hz. Se utiliza filtrado digital para eliminar esta frecuencia dado que la misma se encuentra solapada entre las frecuencias buscadas en la señal censada; es por este motivo que necesitamos conseguir un filtro de alto grado con una pendiente de caída extremadamente abrupta que evite la atenuación de las señales adyacentes. A través de un software desarrollado en python, se logró un filtro notch que elimina las frecuencias de 50 hz sin atenuar considerablemente las demás.

### 3.1.2. Circuitos esquemáticos

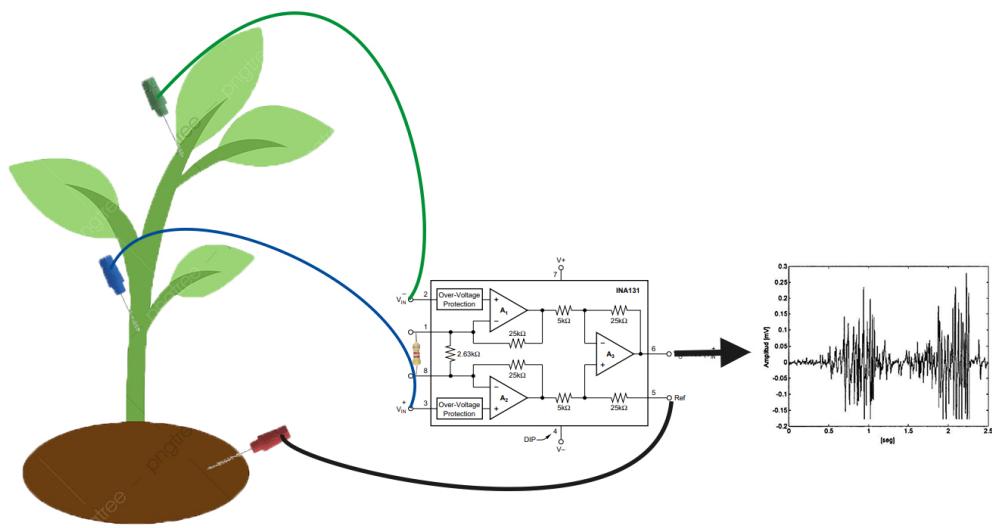
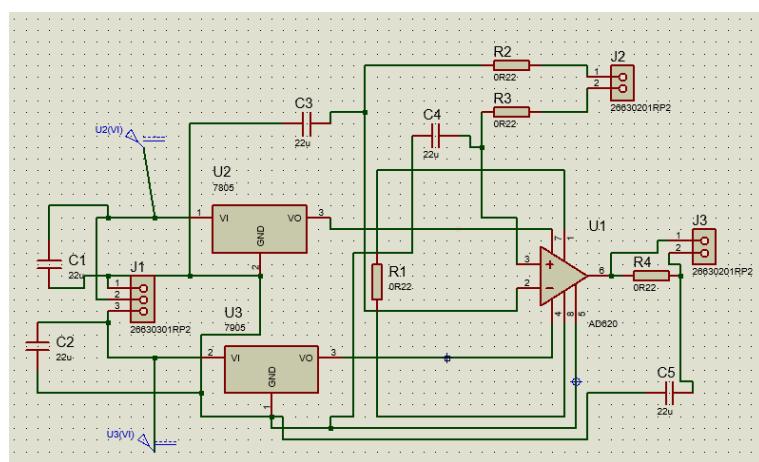


Figura 3.6: Esquema del dispositivo



### 3.1.3. Esquemas físicos

INA131

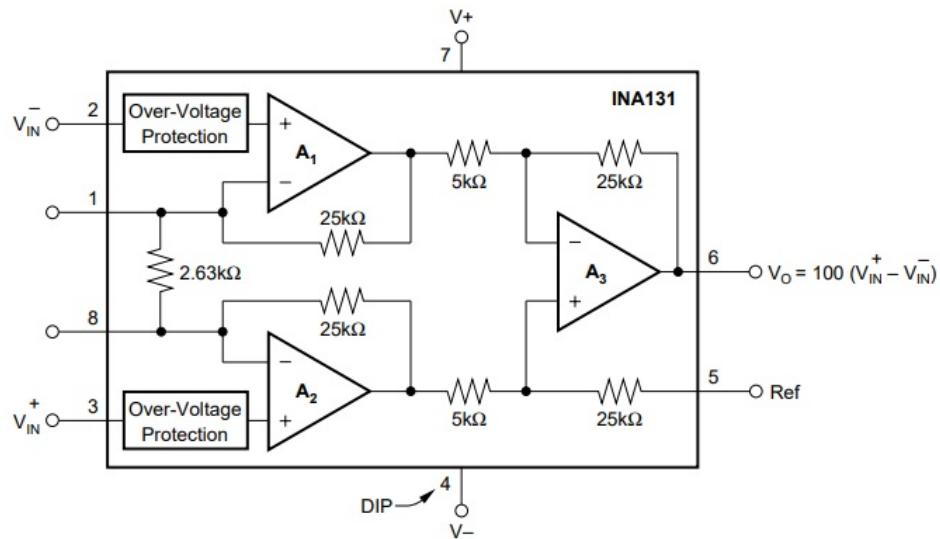
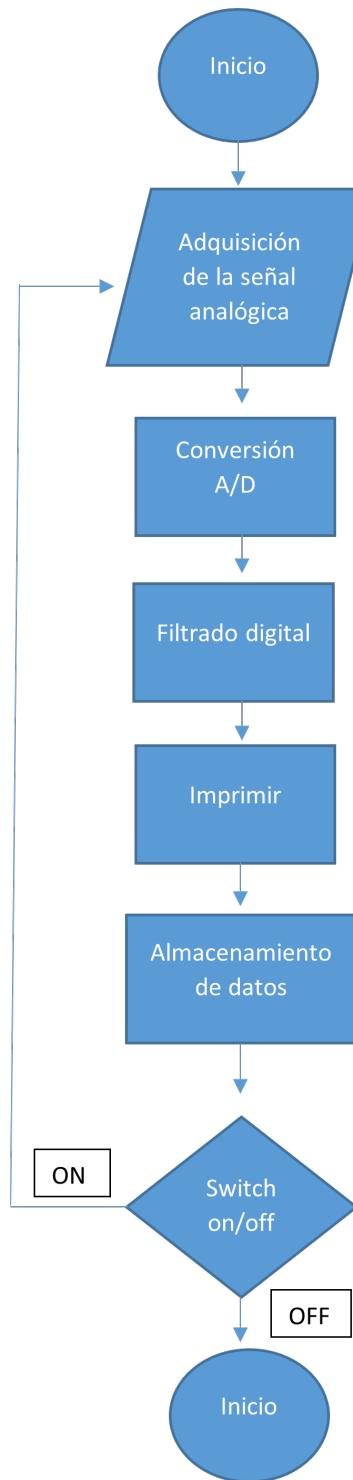


Figura 3.8: Esquema físico del amplificador de bioinstrumentación INA131

## 3.2. Software

### 3.2.1. Diagrama de flujo

En esta sección expondremos el diagrama de flujo correspondiente a el software necesario para digitalizar la señal obtenida y mostrarla por pantalla.



### 3.2.2. Exhibición de resultados

A continuación se observan imágenes del software de visualización de la señal eléctrica proveniente de la planta Mimosa Púdica en tiempo real, en tres situaciones diferentes:

- Planta sin ningún tipo de estimulación

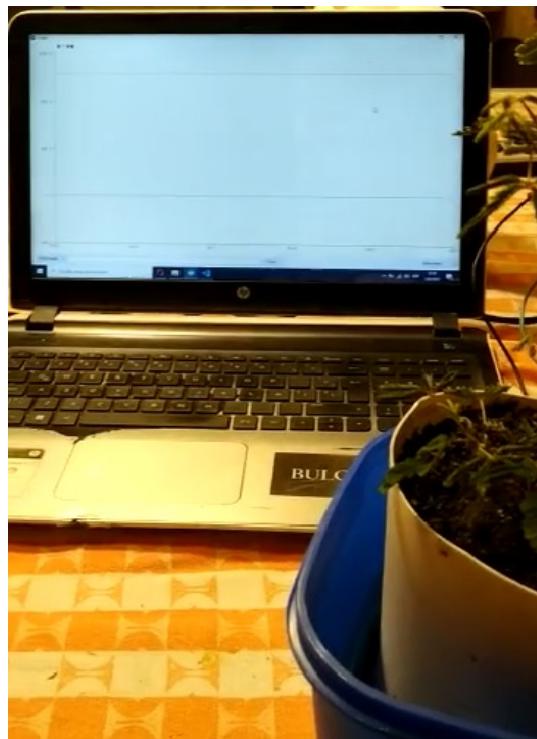


Figura 3.9: Planta sin estimular

- Planta sometida al tacto una vez

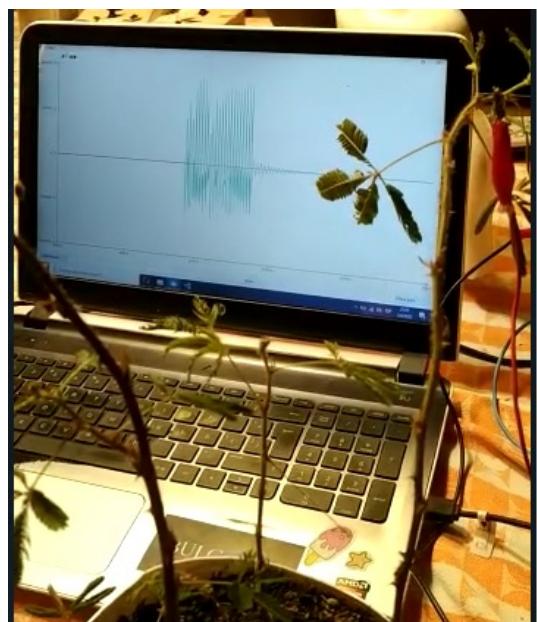


Figura 3.10: Respuesta de planta ante estímulo único

- Planta sometida altacto tres veces consecutivas

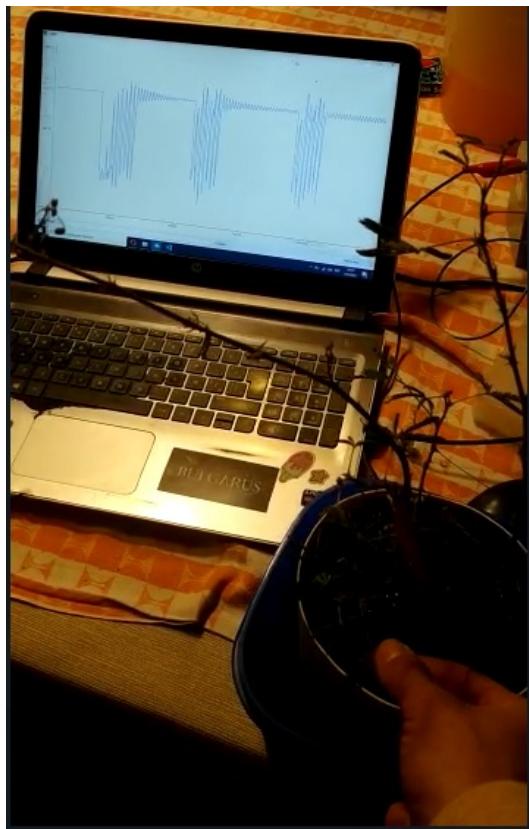


Figura 3.11: Respuesta de planta ante estímulo múltiple

En estas primeras pruebas podemos observar la respuesta de la planta al estímulo físico, donde la señal detectada no sigue un patrón definido en principio. La respuesta es inmediata y con frecuencias de señales variadas.

En pruebas posteriores se pudo observar que la planta no responde solo de manera inmediata al estímulo, sino que ante estímulos de larga duración entra en un periodo refractario en el que continua emitiendo señal sin tener estímulo mecánico. Estos periodos refractarios pueden durar algunos segundos incluso minutos y luego de los mismos es difícil lograr que la planta vuelva a entrar en estado refractivo.

El estudio de los periodos refractarios se llevará a cabo posteriormente en un trabajo futuro, en el que también se evaluará otro tipo de estímulos y otro tipo de plantas, con el objetivo de poder darle una finalidad productiva al estudio.



# Cuaderno de Campo

En los primeros días se probó el amplificador de instrumentación para verificar si era correcto su funcionamiento, se obtuvieron señales muy ruidosas por lo que se procedió a anexarle un filtro para ajustar las frecuencias y la magnitud de la señal. Este procedimiento se observa en las siguientes imágenes:



Figura 4.1: Trabajo en laboratorio



Figura 4.2: Trabajo en laboratorio

El circuito necesario para acondicionar la señal que provenía del amplificador de bioinstrumentación se montó sobre una protoboard, por lo cual el mismo circuito hay que replicarlo en una placa experimental y posteriormente en una impresa.

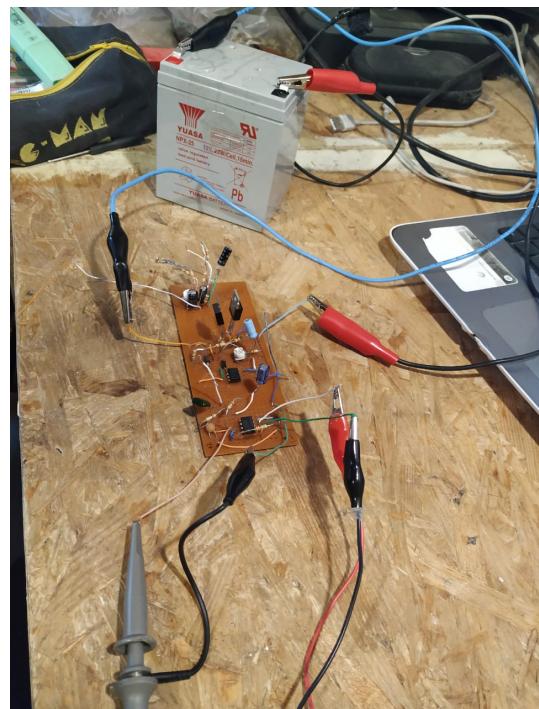


Figura 4.3: Conexión sin etapa de filtrado

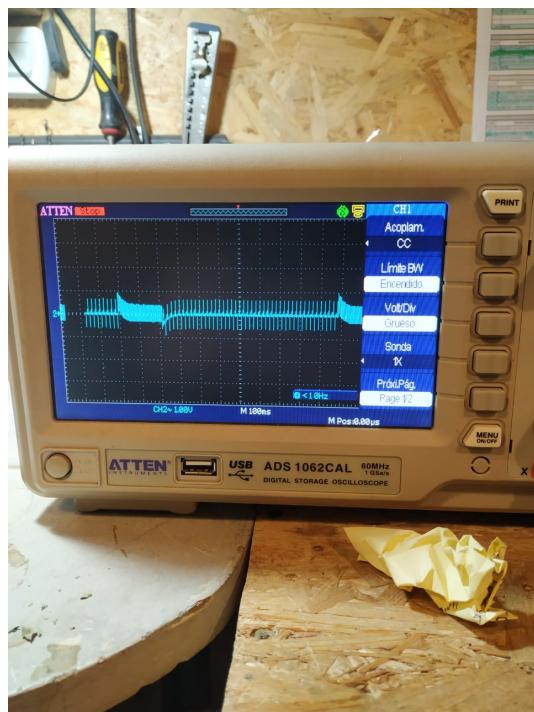


Figura 4.4: Señal sin filtrar

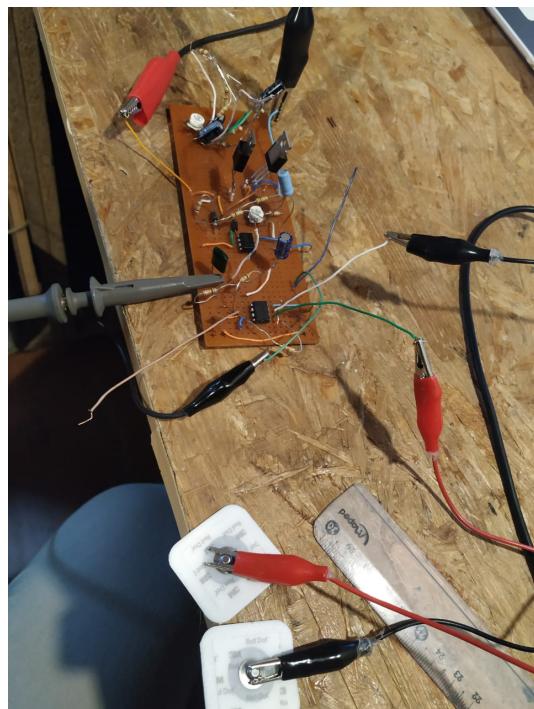


Figura 4.5: Conexión con etapa de filtrado

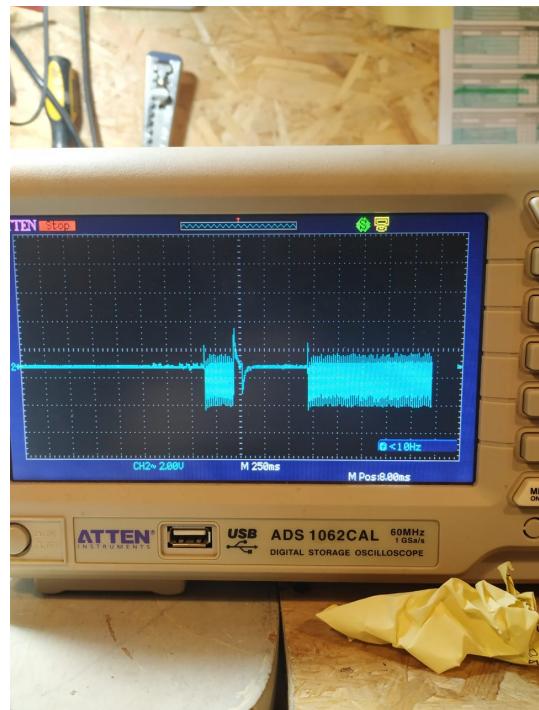


Figura 4.6: Señal filtrada

El siguiente paso fué detectar señales analógicas provenientes de un potenciómetro con ARDUINO, una vez que se verificó el correcto funcionamiento del mismo pasamos a conectar la planta Mimosa Púdica con el dispositivo antes confeccionado, es decir, en conjunto con el amplificador de bioinstrumentación y los filtros analógicos.



Figura 4.7: Planta mimosa púdica conectada al arduino, através de una etapa previa de amplificación y filtrado



Figura 4.8: Planta mimosa púdica en otra perspectiva

El problema que se presentó en el procedimiento anterior fué la presencia de ruido de línea de 50 hz en la medición, ya que este enmascaraba la señal eléctrica proveniente de la planta. Por lo que el acto seguido fue la aplicación de un filtro digital en ARDUINO para eliminar el mencionado ruido de línea y así poder visualizar únicamente señales provenientes de la Mimosa Púdica. El resultado obtenido se puede observar en las siguientes imágenes



Figura 4.9: Planta mimosa púdica conectada a través de ARDUINO

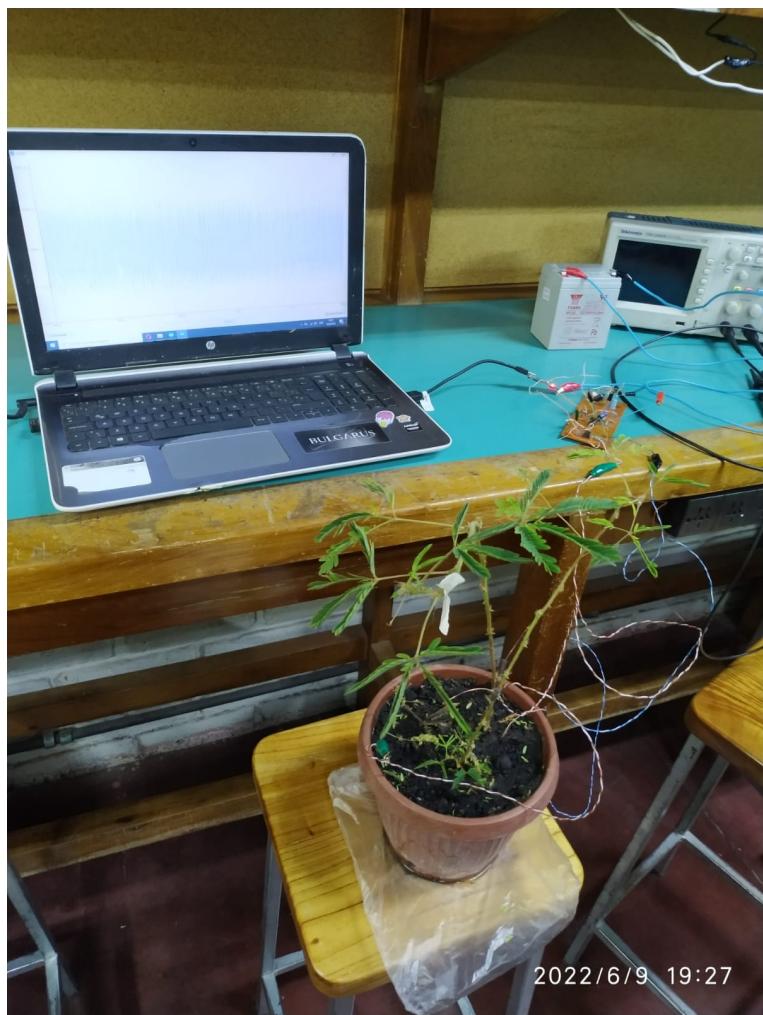


Figura 4.10: Planta mimosa púdica conectada a través de ARDUINO

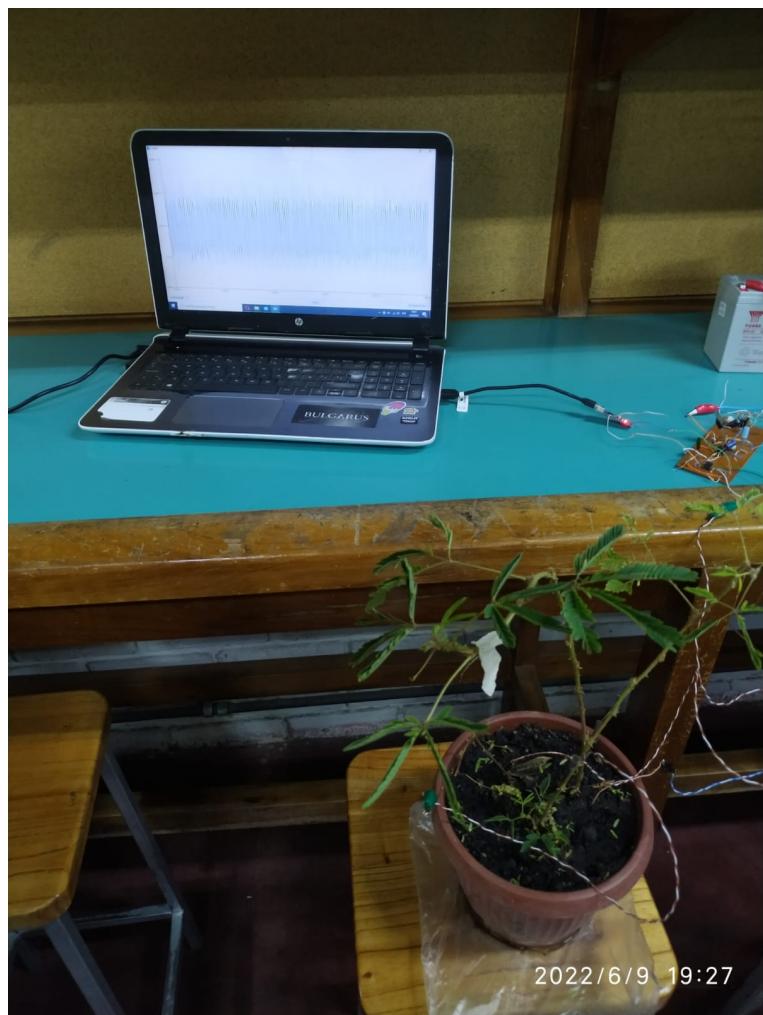


Figura 4.11: Planta mimosa púdica conectada a través de ARDUINO

Así fue como se llegó al objetivo planteado el cual era poder adquirir la señal eléctrica que entrega esta planta antes mencionada y poder exhibir la misma en tiempo real.

# **Conclusiones**

Se logró el objetivo que era confeccionar un dispositivo capaz de medir la señal eléctrica que produce la planta Mimosa púdica cuando a esta se la somete a distintos estímulos externos y exhibir la misma en tiempo real. El estímulo elegido para llevar a cabo las pruebas fue el tacto.



## **Trabajo futuro**

- Perfeccionar los electrodos y mejorar el sistema de adquisición de datos
- Adaptar el dispositivo para realizar estudios en distintas especies de plantas
- Confeccionar un sistema de almacenamiento de datos con el fin de realizar estudios a largo plazo



# Bibliografía

- [1] “Morfología de las plantas.”
- [2] Z. H. A. Guillermo A. Chuncho, Carlos G.Chuncho pp. 71–112, AGOSTO 2019.
- [3] “Partes de una planta:la raíz,” Mar 2016.
- [4] “Partes del tallo.”
- [5] A. Z. Fernandes, “Estructura interna de una hoja,” Mar 2022.
- [6] V. A. R. Cuevas, “Partes de la flor,” Mar 2013.
- [7] P. Biogeociencia, “El fruto.”
- [8] “Sistema nervioso vegetal al descubierto.”



# Paper

# Fitoseñales eléctricas

Naldini Franco,\* Ianardi Julián,\* M. S. Moyano, G. Quintero, P. Y. Teruya, and J. J. Jauregui

*Instituto de Bioingeniería, Facultad de Ingeniería, Universidad de Mendoza, Boulogne Sur Mer 683, Mendoza*

E-mail: f.naldini@alumno.um.edu.ar; j.ianardi@alumno.um.edu.ar

## Resumen

Las plantas son organismos vivos fotosintéticos que generan señales eléctricas como respuesta a diferentes tipos de estímulos externos tales como la disponibilidad de agua, daños, etc. Estas señales de baja magnitud provienen de los cambios químicos de la savia, de la despolarización celular y del transporte de iones.

El siguiente trabajo busca diseñar y confeccionar un dispositivo capaz de medir y exhibir dichas señales en tiempo real.

## Introducción

Al igual que en el cuerpo humano algunas plantas responden a determinados estímulos mediante ondas de descarga eléctrica, las cuales se producen gracias a un gradiente de concentración de iones en la membrana celular y a la permeabilidad selectiva de la misma. La diferencia entre estas ondas es que las producidas en las células animales, el intercambio de cargas se produce a través de canales y flujos de potasio-sodio, mientras que el potencial de acción generado en las plantas es a causa de un intercambio de iones de calcio y potasio.

Estas señales eléctricas pueden ser sensadas y estudiadas con el fin de determinar patrones y comportamientos en estos sistemas biológicos.

La señal que se busca captar tiene una amplitud aproximada de 50 mV y frecuencias que oscilan entre 0.5 y 100 hz, a continuación se muestra su equivalente eléctrico:

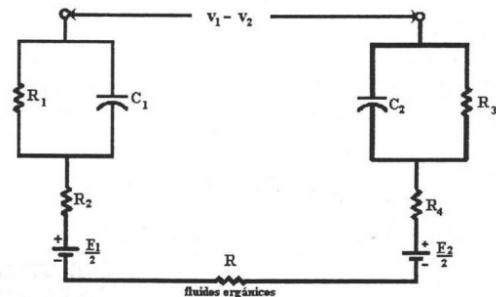


Figura 1: Equivalente eléctrico.

## Herramientas y Métodos

Para la confección del circuito de nuestro dispositivo se utilizó un amplificador de bioinstrumentación INA131 en conjunto con las resistencias y los capacitores necesarios para su correcto funcionamiento. Este circuito se alimentó a través de los reguladores de tensión 7805 y 7905 necesarios para la confección de una fuente partida. A continuación se muestra el circuito esquemático:

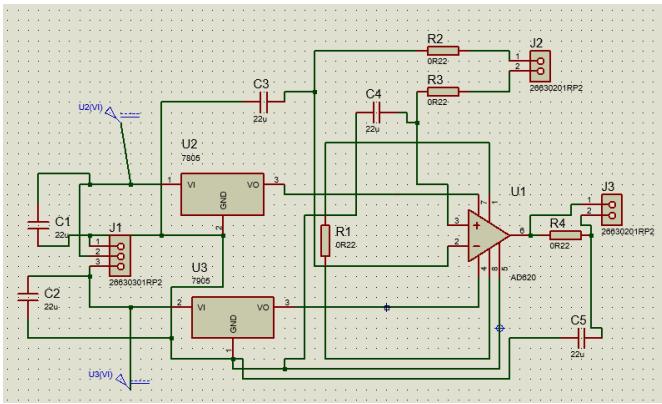


Figura 2: Circuito esquemático

## Diagrama en bloques

### Hardware

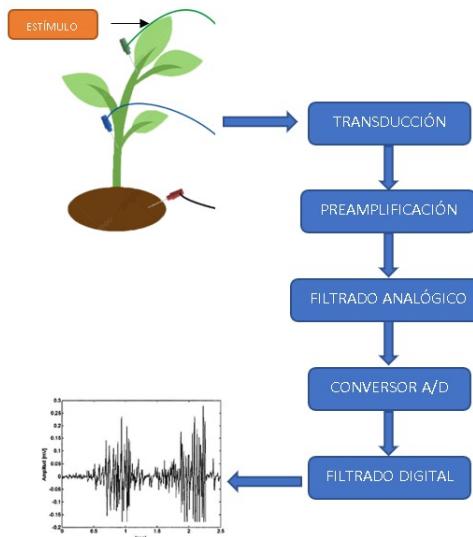


Figura 3: Diagrama de bloques del hardware.

## Software

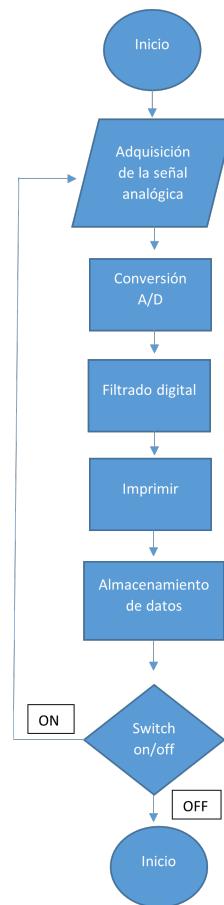


Figura 4: Diagrama de flujo del software.

Se determinó que la planta Mimosa Púdica era la mas apropiada para realizar el experimento, ya que la misma tiene una respuesta más sensible y de mayor amplitud . Para realizar el estudio se la sometió a distintos entimulos táctiles y luminínicos con los siguientes resultados:

# Resultados

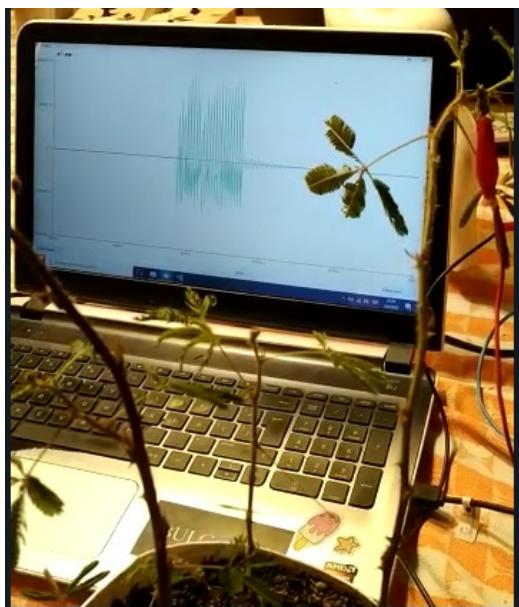


Figura 5: Respuesta de la planta al tacto.

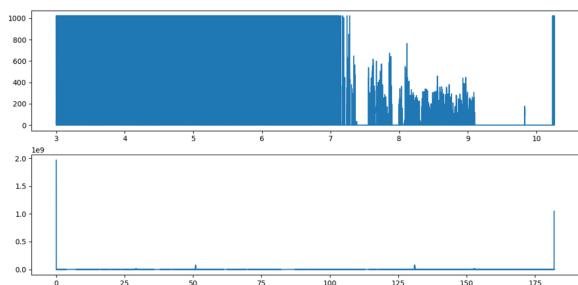


Figura 6: Respuesta de la planta ante estímulo lumínico prolongado.

Como se puede ver la planta responde al tacto con señales eléctricas de frecuencias variables y además se observa un proceso refractivo cuya duración depende del tipo y de la cantidad de estímulos aplicados.

Estas señales de frecuencias variables serán objeto de estudio en un proyecto futuro.

## Conclusiones

Se logró el objetivo de confeccionar un dispositivo capaz de sensar señales eléctricas producidas por la planta Mimosa Pídica al ser esta sometida a distintos esímulos externos. Las

mismas se exhibieron en tiempo real a través de una computadora.

## Trabajo futuro

- Perfeccionar los electrodos y mejorar el sistema de adquisición de datos
- Aplicar el dispositivo a distintos tipos de plantas.
- Confeccionar un sistema de almacenamiento de datos para poder estudiar la señal en el tiempo y así lograr llevar a cabo un análisis de los distintos eventos ocurridos.

## Referencias

- (1) Guillermo A. Chuncho, Z. H. A., Carlos G.Chuncho **2019**, 71–112.
- (2) SISTEMA NERVIOSO VEGETAL AL DESCUBIERTO. <https://cordis.europa.eu/article/id/154414-nervous-system-of-plants-revealed/>
- (3) Morfología de las plantas. [http://soda.ustadistancia.edu.co/enlinea/Momento3\\_\%20Flora\\_\%20Janet\%20Camacho\%20Garzon/morfologia\\_de\\_las\\_plantas.html](http://soda.ustadistancia.edu.co/enlinea/Momento3_\%20Flora_\%20Janet\%20Camacho\%20Garzon/morfologia_de_las_plantas.html).
- (4) Partes de una planta:La Raíz. 2016; <https://infofreddy.wordpress.com/partes-de-una-de-la-raiz/>.
- (5) Partes del Tallo. <https://docplayer.es/33558288-Partes-de-la-planta-las-plantas.html>.
- (6) Fernandes, A. Z. Estructura interna de una hoja. 2022; <https://www.diferenciador.com/partes-de-la-planta/>.
- (7) Cuevas, V. A. R. Partes de la flor. 2013; [https://www.educaplay.com/learning-resources/799674-partes\\_y\\_reproduccion\\_plantas.html](https://www.educaplay.com/learning-resources/799674-partes_y_reproduccion_plantas.html).

(8) Biogeociencia, P. El fruto. <https://biogeociencia.wordpress.com/category/recursos/1o-bachiller/biologia-y-geologia/page/5/>.

1 2 3 4 5 6 7 8



# **Poster**

F. Naldini<sup>a\*</sup>, J. Ianardi<sup>a†</sup>, M. S. Moyano<sup>a</sup>, G. Quintero<sup>a</sup>, P. Y. Teruya<sup>a</sup>, J. J. Jauregui<sup>a</sup>

<sup>a\*</sup> Instituto de Bioingeniería, Facultad de Ingeniería, Universidad de Mendoza, Boulogne Sur Mer 683, Mendoza

\*f.naldini@alumno.um.edu.ar  
†j.ianardi@alumno.um.edu.ar

## Introducción

Al igual que en el cuerpo humano algunas plantas responden a determinados estímulos mediante ondas de descarga eléctrica, las cuales se producen gracias a un gradiente de concentración de iones en la membrana celular y a la permeabilidad selectiva de la misma. La diferencia entre estas ondas es que las producidas en las células animales, el intercambio de cargas se produce a través de canales y flujos de potasio-sodio, mientras que el potencial de acción generado en las plantas es a causa de un intercambio de iones de calcio y potasio.

Estas señales eléctricas pueden ser sensadas y estudiadas con el fin de determinar patrones y comportamientos en estos sistemas biológicos.

## Objetivos generales

- Desarrollar un dispositivo capaz de sensar señales eléctricas producidas en plantas bajo determinados estímulos.
- Determinar si existe una especie de planta en la que se generen potenciales de acción medibles

## Objetivos específicos

- Realizar la interfaz necesaria para adquirir la señal eléctrica proveniente de la planta.
- Acondicionar la señal con el fin de poder introducirla en un conversor A/D.
- Presentar la señal en una interfaz comprensible para el usuario a través de una computadora.
- Determinar la existencia de una correlación entre los estímulos aplicados a la planta con su respuesta eléctrica correspondiente.

## Herramientas y Métodos

Para la confección del circuito se utilizó un amplificador de instrumentación INA131 en conjunto con las resistencias y capacitores necesarios para su correcto funcionamiento. Este circuito se alimentó a través de reguladores de tensión 7805 y 7905 necesarios para la confección de una fuente partida. Junto con esto se confeccionó un filtro pasa bajos para la eliminación de ruido.

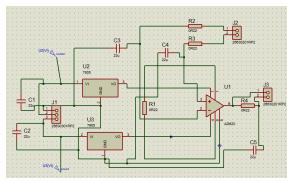


Figure 1: Circuito esquemático del dispositivo

## Esquema del dispositivo:

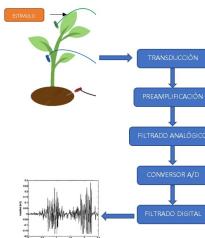


Figure 2: Diagrama en bloques del hardware asociado al dispositivo

Se determinó que la planta **Mimosa Púdica** era la apropiada para realizar el experimento, ya que la misma tiene una respuesta más sensible y de mayor amplitud ante los estímulos.

Uno de los grandes problemas a resolver fue encontrar electrodos que se amolden de manera correcta a la estructura de la planta, como ninguna de las opciones comerciales cumplía con nuestros requerimientos por motivos económicos y estructurales, se optó por la confección propia de electrodos tipo aguja. En las siguientes imágenes podemos observar el resultado conseguido.



Figure 3: Electrodo aguja confección propia

## Conclusiones

Se logró el objetivo de confeccionar un dispositivo capaz de sensar señales eléctricas producidas por la planta Mimosa Púdica al ser esta sometida a distintos estímulos externos. Las mismas se exhibieron en tiempo real a través de una computadora.

## Referencias

[1] Guillermo A. Chuncho, Z. H. A., Car- los G.Chuncho 2019, 71–112.

El estudio consta de dos ensayos distintos, en el primero se sometió a la planta a estímulos táctiles con el objetivo de ver respuestas rápidas y potentes (resultado 1 y 2). El segundo ensayo que se realizó consistió en proporcionar un ambiente controlado en el que se evitaran todo tipo de variaciones físicas con el fin de que el estímulo fuera únicamente lumínico, en esta prueba el tiempo de sensado fué de 7:30 hs para observar la respuesta de la planta al ser sometida a los rayos UV de la luz solar (resultado 3) :

## Resultado 1

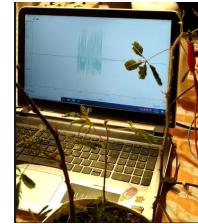


Figure 4: Respuesta de la planta ante un estímulo único

## Resultado 2



Figure 5: Respuesta de la planta ante estímulo táctil múltiple

Podemos observar una respuesta inmediata del individuo ante el estímulo táctil como se suponía en el inicio del proyecto. Lo que no se esperaba fué la aparición de un período refractario en el que la planta pierde su sensibilidad, el cual inicia luego de unos segundos desde el primer tacto.

## Resultado 3

Respuesta de la planta ante estímulos lumínicos prolongados.

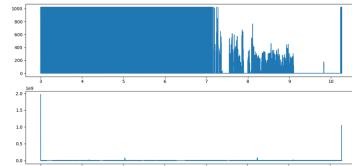


Figure 6: Señal adquirida desde las 03:00 am hasta las 10:30 am

En este gráfico se puede observar que durante el alba la señal observada en la planta comienza a decaer hasta el punto en el que el individuo vuelve a su estado basal.

## Trabajo Futuro

- Perfeccionar los electrodos y mejorar el sistema de adquisición de datos
- Adaptar el dispositivo para realizar estudios en distintas especies de plantas
- Confeccionar un sistema de almacenamiento de datos con el fin de realizar estudios a largo plazo

# Manual de usuario

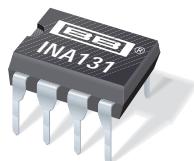
- El dispositivo es portátil y se conecta a una computadora a través de un puerto USB.
- La visualización de la señal es a través de ARDUINO por lo que se deberá compilar el código en el software correspondiente.
- Se deberá tener cuidado con la introducción de los electrodos aguja en la planta Mimosa Púdica ya que esta es muy sensible y puede entrar en shock, evento en el cual la visualización de la señal no es posible.
- La planta debe estar expuesta al sol para que su respuesta al tacto sea la mejor posible.



# Apéndices



# Data Sheet



**INA131**

## Precision G = 100 INSTRUMENTATION AMPLIFIER

### FEATURES

- LOW OFFSET VOLTAGE:  $50\mu\text{V}$  max
- LOW DRIFT:  $0.25\mu\text{V}/^\circ\text{C}$  max
- LOW INPUT BIAS CURRENT:  $2\text{nA}$  max
- HIGH COMMON-MODE REJECTION:  $110\text{dB}$  min
- INPUT OVERTURE PROTECTION:  $\pm 40\text{V}$
- WIDE SUPPLY RANGE:  $\pm 2.25$  to  $\pm 18\text{V}$
- LOW QUIESCENT CURRENT:  $3\text{mA}$
- 8-PIN PLASTIC DIP

### APPLICATIONS

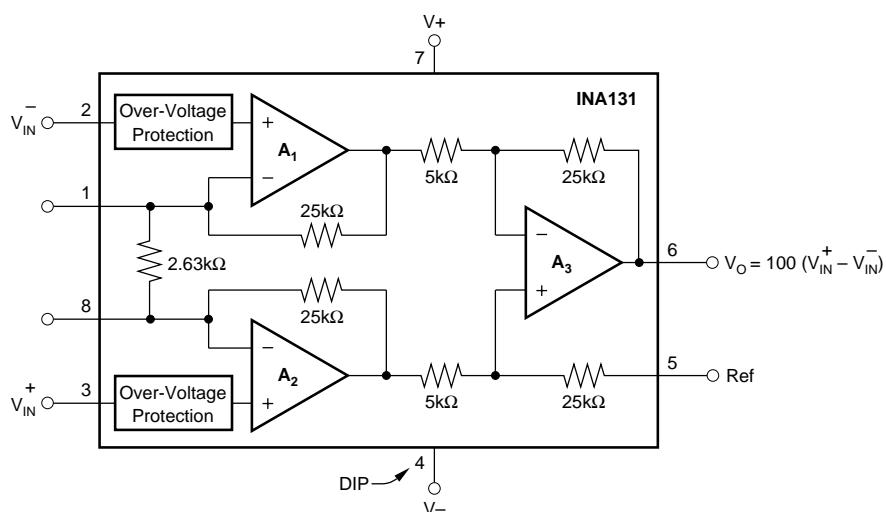
- BRIDGE AMPLIFIER
- THERMOCOUPLE AMPLIFIER
- RTD SENSOR AMPLIFIER
- MEDICAL INSTRUMENTATION
- DATA ACQUISITION

### DESCRIPTION

The INA131 is a low cost, general purpose  $G = 100$  instrumentation amplifier offering excellent accuracy. Its 3-op amp design and small size make it ideal for a wide range of applications.

On-chip laser trimmed resistors accurately set a fixed gain of 100. The INA131 is laser trimmed to achieve very low offset voltage ( $50\mu\text{V}$  max), drift ( $0.25\mu\text{V}/^\circ\text{C}$  max), and high CMR ( $110\text{dB}$  min). Internal input protection can withstand up to  $\pm 40\text{V}$  inputs without damage.

The INA131 is available in a 8-pin plastic DIP. They are specified over the  $-40^\circ\text{C}$  to  $+85^\circ\text{C}$  temperature range.



International Airport Industrial Park • Mailing Address: PO Box 11400, Tucson, AZ 85734 • Street Address: 6730 S. Tucson Blvd., Tucson, AZ 85706 • Tel: (520) 746-1111 • Twx: 910-952-1111  
Internet: <http://www.burr-brown.com/> • FAXLine: (800) 548-6133 (US/Canada Only) • Cable: BBRCORP • Telex: 066-6491 • FAX: (520) 889-1510 • Immediate Product Info: (800) 548-6132

# SPECIFICATIONS

At  $T_A = +25^\circ\text{C}$ ,  $V_S = \pm 15\text{V}$ ,  $R_L = 2\text{k}\Omega$ , unless otherwise noted.

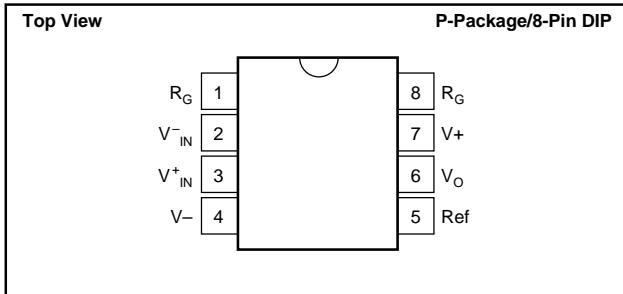
PARAMETER	CONDITIONS	INA131BP			INA131AP			UNITS
		MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	
<b>INPUT</b>								
Offset Voltage, RTI Initial vs Temperature vs Power Supply Long-Term Stability	$T_A = +25^\circ\text{C}$ $T_A = T_{\text{MIN}} \text{ to } T_{\text{MAX}}$ $V_S = \pm 2.25\text{V} \text{ to } \pm 18\text{V}$		$\pm 10$ $\pm 0.1$ 0.5 0.2 $10^{10} \parallel 6$ $10^{10} \parallel 6$ $\pm 13.5$	$\pm 50$ $\pm 0.25$ 3 $\ast$ $\ast$ $\ast$ $\ast$		$\pm 25$ $\pm 0.25$ $\ast$ $\ast$ $\ast$ $\ast$ $\ast$	$\pm 125$ $\pm 1$ $\ast$ $\ast$ $\ast$ $\ast$ $\ast$	$\mu\text{V}$ $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$ $\mu\text{V/V}$ $\mu\text{V/mo}$ $\Omega \parallel \text{pF}$ $\Omega \parallel \text{pF}$ $\text{V}$ $\text{V}$ $\text{dB}$
Impedance, Differential Common-Mode Input Common-Mode Range Safe Input Voltage Common-Mode Rejection	$V_{\text{CM}} = \pm 10\text{V}$ , $\Delta R_S = 1\text{k}\Omega$	$\pm 11$	110	120	$\pm 40$	106	110	$\ast$
<b>BIAS CURRENT</b> vs Temperature				$\pm 0.5$ $\pm 8$	$\pm 2$		$\ast$ $\ast$	$\pm 5$
<b>OFFSET CURRENT</b> vs Temperature				$\pm 0.5$ $\pm 8$	$\pm 2$		$\ast$ $\ast$	$\pm 5$
<b>NOISE VOLTAGE, RTI</b>	$R_S = 0\Omega$			16 12 12 12 0.4			$\ast$ $\ast$ $\ast$ $\ast$ $\ast$	$\text{nV}/\sqrt{\text{Hz}}$ $\text{nV}/\sqrt{\text{Hz}}$ $\text{nV}/\sqrt{\text{Hz}}$ $\text{nV}/\sqrt{\text{Hz}}$ $\mu\text{Vp-p}$
f = 10Hz f = 100Hz f = 1kHz f = 10kHz $f_B = 0.1\text{Hz} \text{ to } 10\text{Hz}$ Noise Current f = 10Hz f = 1kHz $f_B = 0.1\text{Hz} \text{ to } 100\text{Hz}$				0.4 0.2 18				$\text{pA}/\sqrt{\text{Hz}}$ $\text{pA}/\sqrt{\text{Hz}}$ $\text{pAp-p}$
<b>GAIN</b> Gain Error <sup>(1)</sup> Resistor Value <sup>(2)</sup> Gain vs Temperature Nonlinearity				$\pm 0.01$ $\pm 10$ $\pm 5$ $\pm 0.0003$	$\pm 0.024$ $\pm 40$ $\pm 10$ $\pm 0.002$		$\ast$ $\ast$ $\ast$ $\ast$	$\pm 0.1$ $\ast$ $\pm 20$ $\pm 0.004$
<b>OUTPUT</b> Voltage Load Capacitance, max Short Circuit Current	$I_O = 5\text{mA}$ , $T_{\text{MIN}} \text{ to } T_{\text{MAX}}$ $V_S = \pm 11.4\text{V}$ , $R_L = 2\text{k}\Omega$ $V_S = \pm 2.25\text{V}$ , $R_L = 2\text{k}\Omega$ Stable Operation	$\pm 13.5$ $\pm 10$ $\pm 1$	$\pm 13.7$ 10.5 1.5 1000 $+20/-15$		$\ast$ $\ast$ $\ast$ $\ast$ $\ast$			$\text{V}$ $\text{V}$ $\text{V}$ $\text{pF}$ $\text{mA}$
<b>FREQUENCY RESPONSE</b> Bandwidth, -3dB Slew Rate Settling Time, 0.01% Overload Recovery	$V_O = \pm 10\text{V}$ 50% Overdrive	0.3	70 0.7 100 20		$\ast$ $\ast$ $\ast$ $\ast$			$\text{kHz}$ $\text{V}/\mu\text{s}$ $\mu\text{s}$ $\mu\text{s}$
<b>POWER SUPPLY</b> Voltage Range Current	$V_{\text{IN}} = 0\text{V}$	$\pm 2.25$	$\pm 15$ $\pm 2.2$	$\pm 18$ $\pm 3$	$\ast$	$\ast$ $\ast$	$\ast$ $\ast$	$\text{V}$ $\text{mA}$
<b>TEMPERATURE RANGE</b> Specification Operating $\theta_{JA}$		-40 -40	85 125 100		$\ast$ $\ast$ $\ast$		$\ast$ $\ast$ $\ast$	${}^\circ\text{C}$ ${}^\circ\text{C}$ ${}^\circ\text{C/W}$

\* Specification same as INA131BP.

NOTES: (1)  $R_L = 10\text{k}\Omega$ . (2) Absolute value of internal gain-setting resistors. (Gain depends on resistor ratios.)

The information provided herein is believed to be reliable; however, BURR-BROWN assumes no responsibility for inaccuracies or omissions. BURR-BROWN assumes no responsibility for the use of this information, and all use of such information shall be entirely at the user's own risk. Prices and specifications are subject to change without notice. No patent rights or licenses to any of the circuits described herein are implied or granted to any third party. BURR-BROWN does not authorize or warrant any BURR-BROWN product for use in life support devices and/or systems.

## PIN CONFIGURATION



## PACKAGE/ORDERING INFORMATION

PRODUCT	PACKAGE	PACKAGE DRAWING NUMBER <sup>(1)</sup>	TEMPERATURE RANGE
INA131AP	8-Pin Plastic DIP	006	-40°C to +85°C
INA131BP	8-Pin Plastic DIP	006	-40°C to +85°C

NOTE: (1) For detailed drawing and dimension table, please see end of data sheet, or Appendix C of Burr-Brown IC Data Book.

## **ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS<sup>(1)</sup>**

Supply Voltage .....	±18V
Input Voltage Range.....	±40V
Output Short Circuit (to ground) .....	Continuous
Operating Temperature .....	-40°C to +125°C
Storage Temperature .....	-40°C to +125°C
Junction Temperature .....	+150°C
Lead Temperature (soldering -10s) .....	+300°C

NOTE: (1) Stresses above these ratings may cause permanent damage.

A black triangle containing a stylized white graphic of a head with a brain-like pattern.

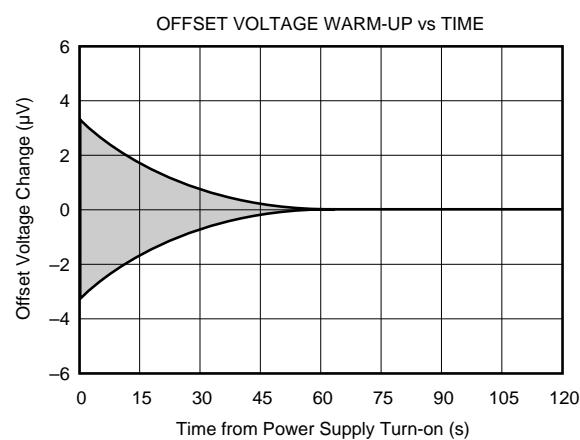
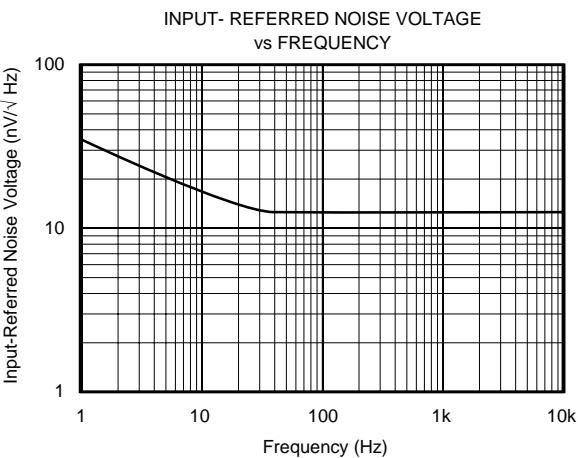
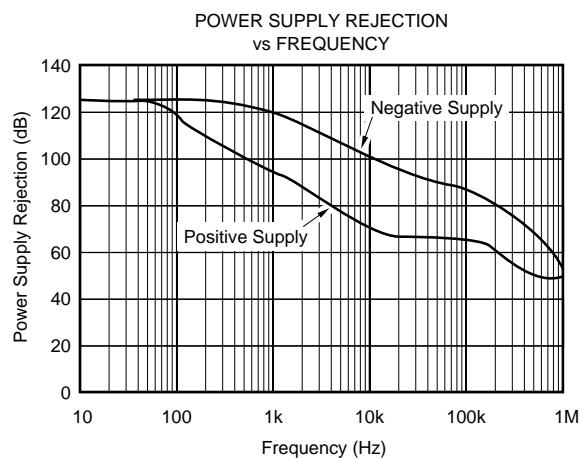
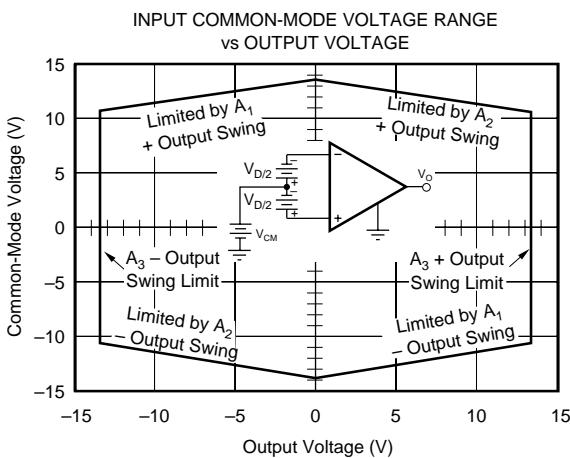
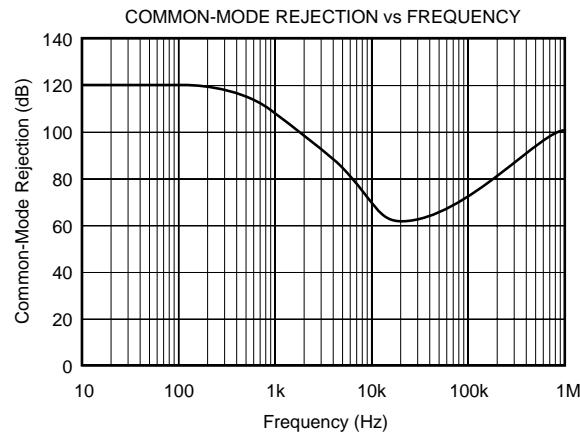
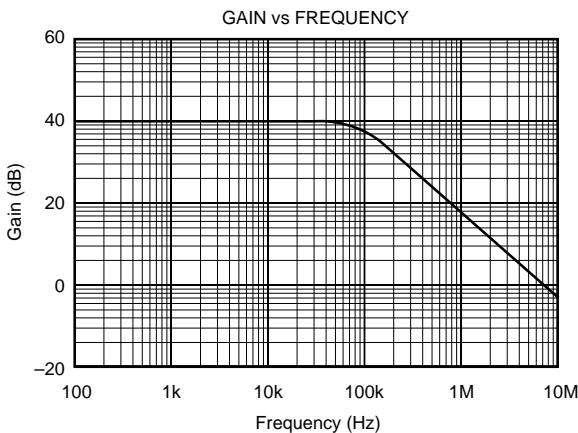
**ELECTROSTATIC  
DISCHARGE SENSITIVITY**

This integrated circuit can be damaged by ESD. Burr-Brown recommends that all integrated circuits be handled with appropriate precautions. Failure to observe proper handling and installation procedures can cause damage.

ESD damage can range from subtle performance degradation to complete device failure. Precision integrated circuits may be more susceptible to damage because very small parametric changes could cause the device not to meet its published specifications.

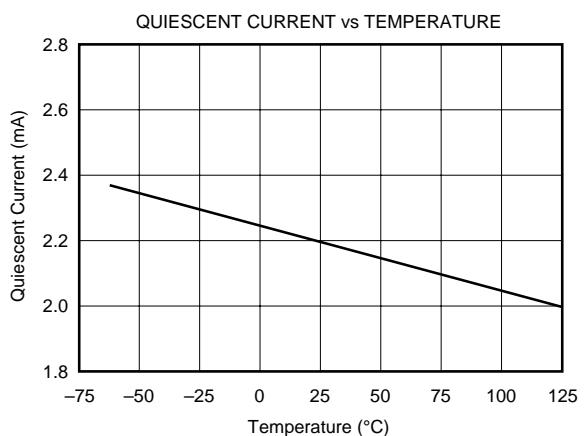
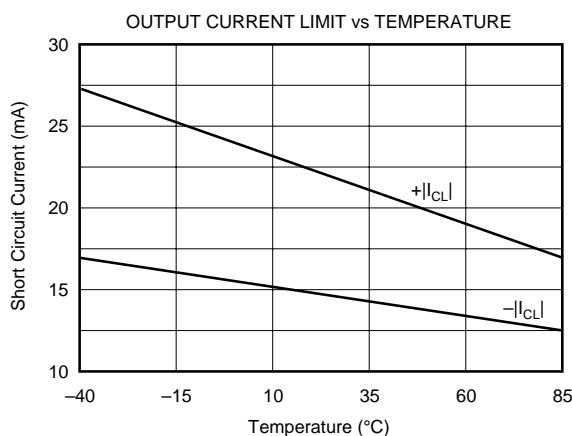
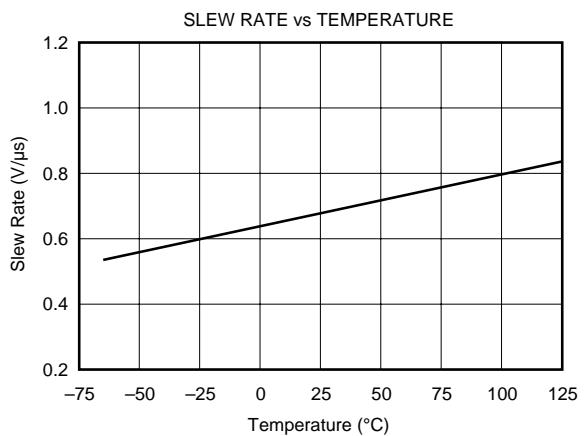
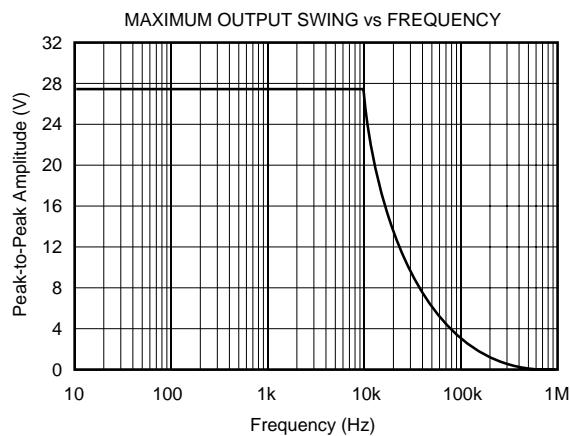
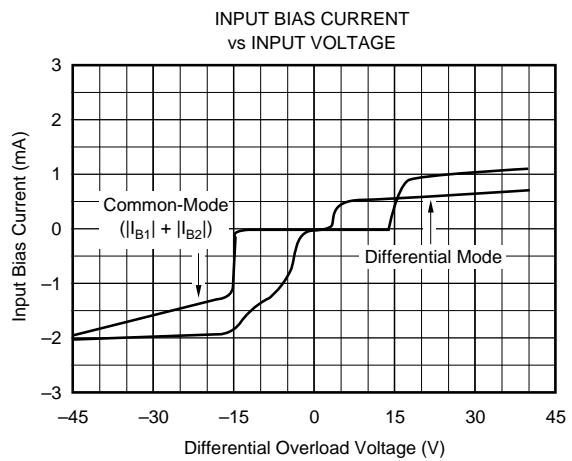
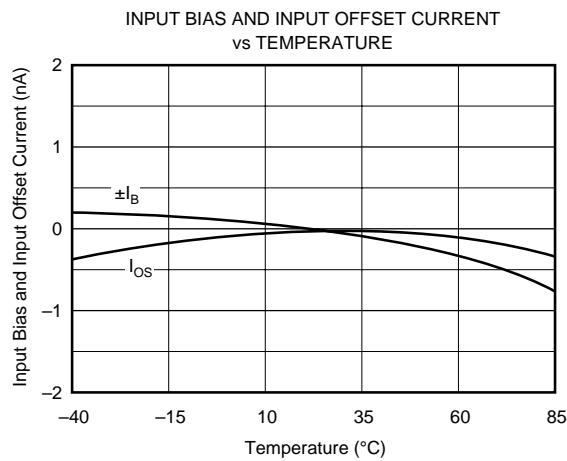
# TYPICAL PERFORMANCE CURVES

At 25°C,  $V_s = \pm 15V$ , unless otherwise noted.



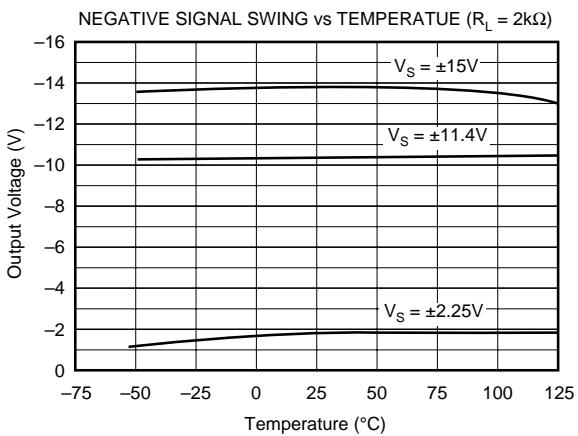
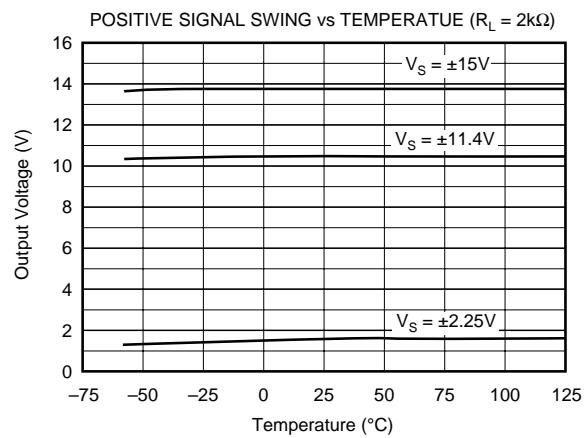
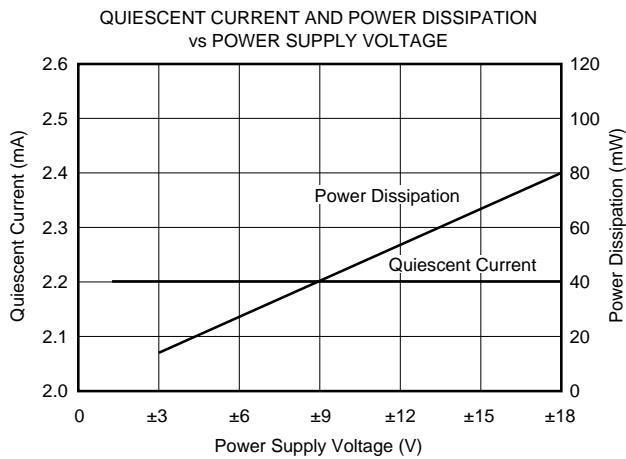
## TYPICAL PERFORMANCE CURVES (CONT)

At 25°C,  $V_s = \pm 15V$ , unless otherwise noted.

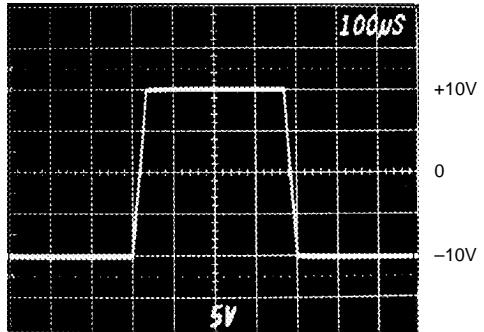


## TYPICAL PERFORMANCE CURVES (CONT)

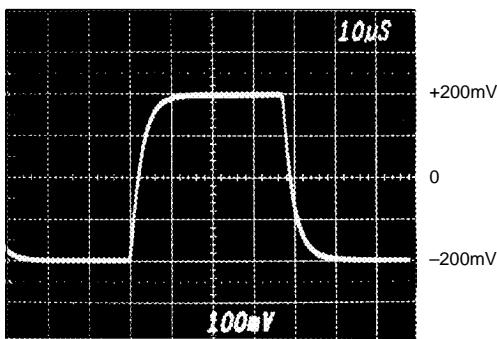
At 25°C,  $V_S = \pm 15V$ , unless otherwise noted.



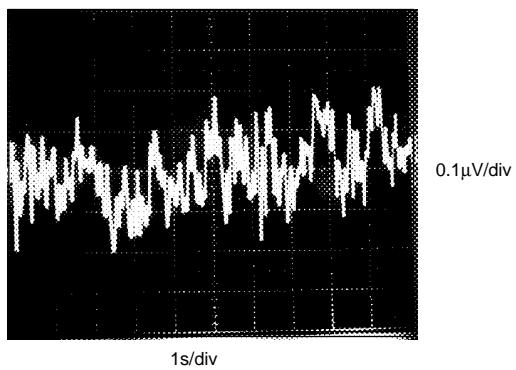
LARGE SIGNAL RESPONSE,  $G = 100$



SMALL SIGNAL RESPONSE,  $G = 100$



INPUT-REFERRED NOISE, 0.1 to 10Hz



# APPLICATION INFORMATION

Figure 1 shows the basic connections required for operation of the INA131. Applications with noisy or high impedance power supplies may require decoupling capacitors close to the device pins as shown.

The output is referred to the output reference (Ref) terminal which is normally grounded. This must be a low-impedance connection to assure good common-mode rejection. A resistance of  $5\Omega$  in series with the Ref pin will cause a device with 110dB CMR to degrade to approximately 106dB CMR.

## SETTING THE GAIN

No external resistors are required for  $G = 100$ . On-chip laser-trimmed resistors set the gain, providing excellent gain accuracy and temperature stability. Gain is distributed between the input and output stages of the INA131. Bandwidth is increased by approximately five times (compared to the INA114 in  $G = 100$ ). Input common-mode range is also improved (see "Input Common-Mode Range").

Although the INA131 is primarily intended for fixed  $G = 100$  applications, the gain can be increased by connecting an external resistor to the  $R_G$  pins. The internal resistors are trimmed for precise ratios, not to absolute values, so the influence of an external resistor will vary from device to

device. Absolute accuracy of the internal values is  $\pm 40\%$ . The nominal gain with an external  $R_G$  resistor can be calculated by:

$$G = 100 + \frac{250 \text{ k}\Omega}{R_G} \quad (1)$$

Where:  $R_G$  is the external gain resistor.

Accuracy of the  $250\text{k}\Omega$  term is  $\pm 40\%$ .

The stability and temperature drift of the external gain setting resistor,  $R_G$ , also affects gain.  $R_G$ 's contribution to gain accuracy and drift can be directly inferred from the gain equation (1).

## NOISE PERFORMANCE

The INA131 provides very low noise in most applications. For differential source impedances less than  $1\text{k}\Omega$ , the INA103 may provide lower noise. For source impedances greater than  $50\text{k}\Omega$ , the INA111 FET-Input Instrumentation Amplifier may provide lower noise.

Low frequency noise of the INA131 is approximately  $0.4\mu\text{Vp-p}$  measured from 0.1 to 10Hz. This is approximately one-tenth the noise of state-of-the-art chopper-stabilized amplifiers.

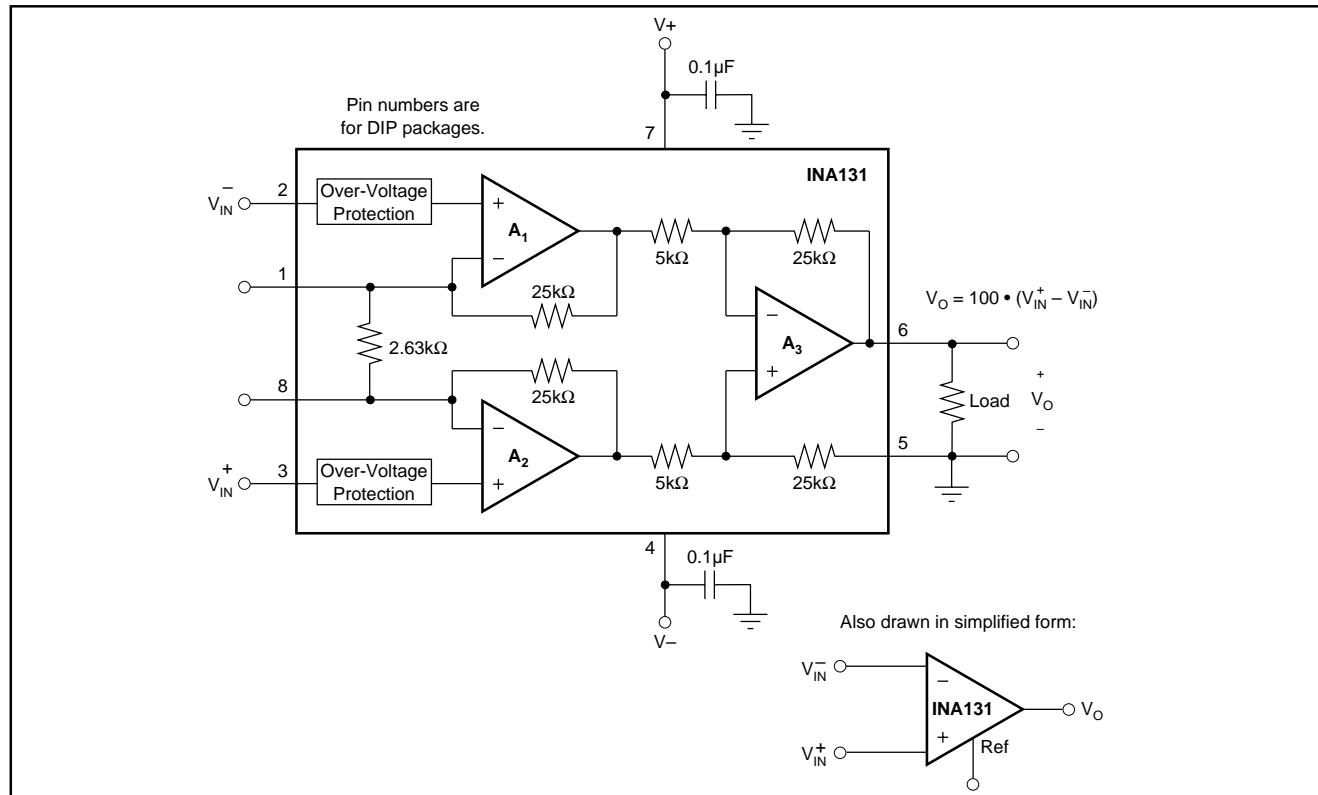


FIGURE 1. Basic Connections.

## OFFSET TRIMMING

The INA131 is laser trimmed for very low offset voltage and drift. Most applications require no external offset adjustment. Figure 2 shows an optional circuit for trimming the output offset voltage. The voltage applied to Ref terminal is summed at the output. Low impedance must be maintained at this node to assure good common-mode rejection. This is achieved by buffering trim voltage with an op amp as shown.

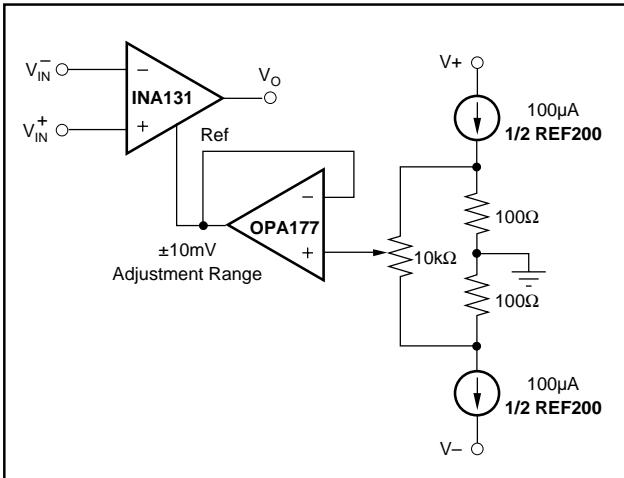


FIGURE 2. Optional Trimming of Output Offset Voltage.

## INPUT BIAS CURRENT RETURN PATH

The input impedance of the INA131 is extremely high—approximately  $10^{10}\Omega$ . However, a path must be provided for the input bias current of both inputs. This input bias current is typically less than  $\pm 1\text{nA}$  (it can be either polarity due to cancellation circuitry). High input impedance means that this input bias current changes very little with varying input voltage.

Input circuitry must provide a path for this input bias current if the INA131 is to operate properly. Figure 3 shows various provisions for an input bias current return path. Without a bias current return path, the inputs will float to a potential which exceeds the common-mode range of the INA131 and the input amplifiers will saturate. If the differential source resistance is low, bias current return path can be connected to one input (see thermocouple example in Figure 3). With higher source impedance, using two resistors provides a balanced input with possible advantages of lower input offset voltage due to bias current and better common-mode rejection.

## INPUT COMMON-MODE RANGE

The linear common-mode range of the input op amps of the INA131 is approximately  $\pm 13.75\text{V}$  (or  $1.25\text{V}$  from the power supplies). As the output voltage increases, however, the linear input range is limited by the output voltage swing of the input amplifiers,  $A_1$  and  $A_2$ . The  $5\text{V/V}$  output stage gain of the INA131 reduces this effect. Compared to the

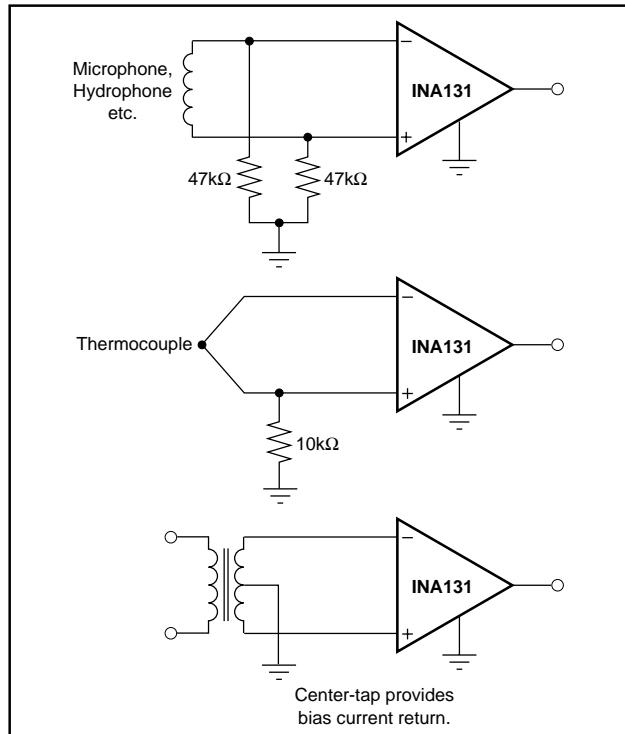


FIGURE 3. Providing an Input Common-Mode Current Path.

INA114 and other unity output gain instrumentation amplifiers, the INA131 provides several additional volts of input common-mode range with full output voltage swing. See the typical performance curve “Input Common-Mode Range vs Output Voltage”.

Input-overload often produces an output voltage that appears normal. For example, an input voltage of  $+20\text{V}$  on one input and  $+40\text{V}$  on the other input will obviously exceed the linear common-mode range of both input amplifiers. Since both input amplifiers are saturated to the nearly the same output voltage limit, the difference voltage measured by the output amplifier will be near zero. The output of the INA131 will be near  $0\text{V}$  even though both inputs are overloaded.

## INPUT PROTECTION

The inputs of the INA131 are individually protected for voltages up to  $\pm 40\text{V}$ . For example, a condition of  $-40\text{V}$  on one input and  $+40\text{V}$  on the other input will not cause damage. Internal circuitry on each input provides low series impedance under normal signal conditions. To provide equivalent protection, series input resistors would contribute excessive noise. If the input is overloaded, the protection circuitry limits the input current to a safe value (approximately  $1.5\text{mA}$ ). The typical performance curve “Input Bias Current vs Input Voltage” shows this input current limit behavior. The inputs are protected even if no power supply voltage is present.

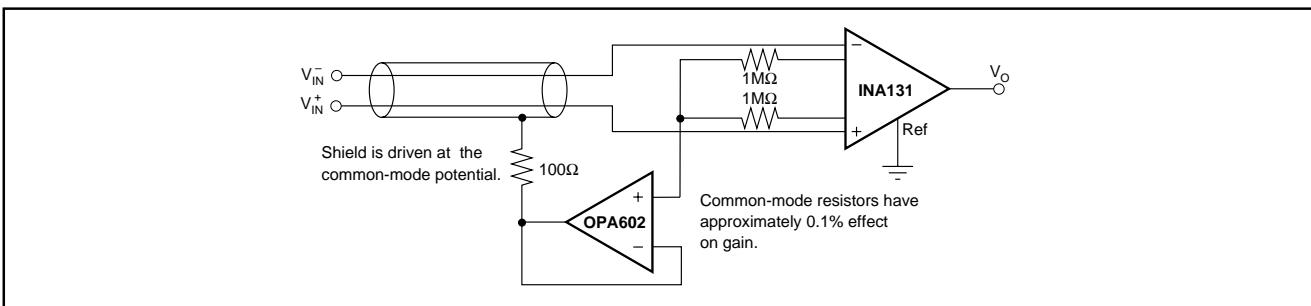


FIGURE 4. Shield Driver Circuit.

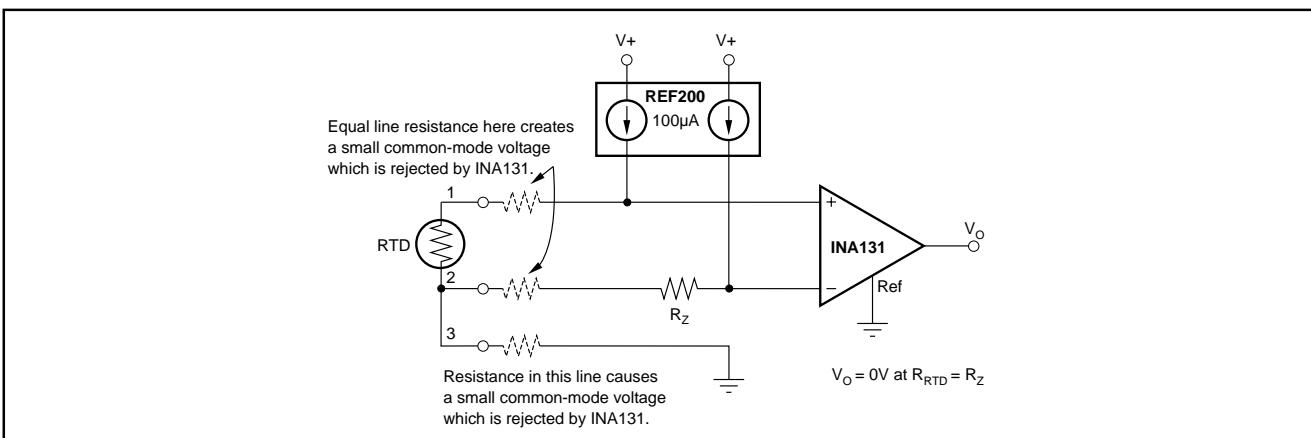


FIGURE 5. RTD Temperature Measurement Circuit.

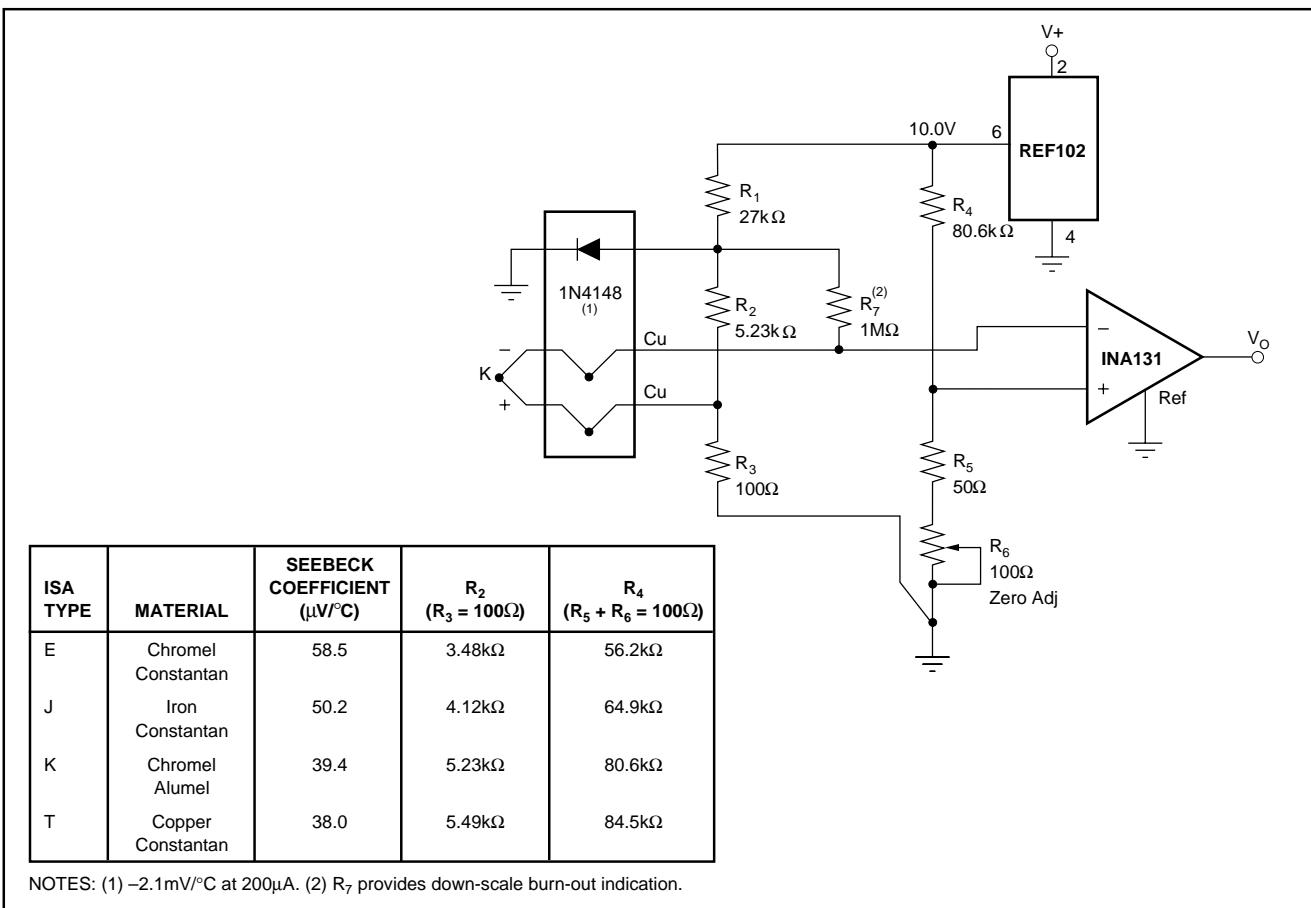


FIGURE 6. Thermocouple Amplifier with Cold Junction Compensation.

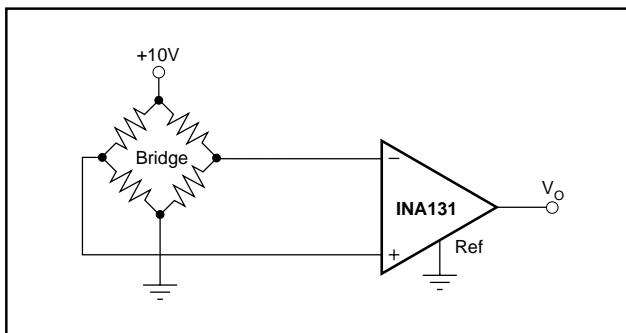


FIGURE 7. Bridge Transducer Amplifier.

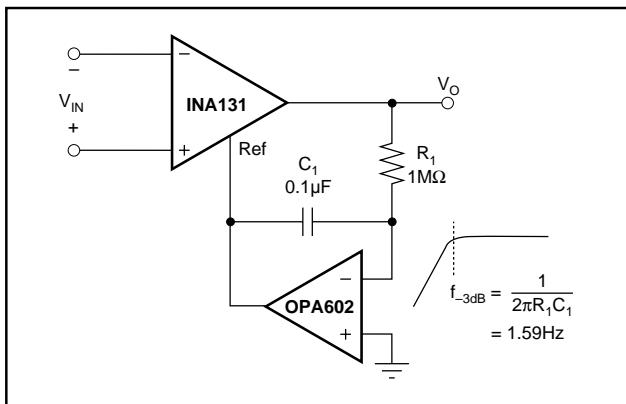


FIGURE 8. AC-Coupled Instrumentation Amplifier.

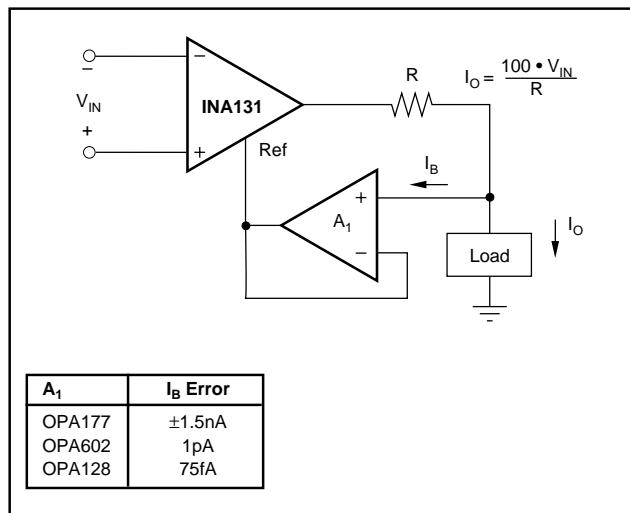


FIGURE 9. Differential Voltage to Current Converter.

## LM741 Operational Amplifier

### 1 Features

- Overload Protection on the Input and Output
- No Latch-Up When the Common-Mode Range is Exceeded

### 2 Applications

- Comparators
- Multivibrators
- DC Amplifiers
- Summing Amplifiers
- Integrator or Differentiators
- Active Filters

### 3 Description

The LM741 series are general-purpose operational amplifiers which feature improved performance over industry standards like the LM709. They are direct, plug-in replacements for the 709C, LM201, MC1439, and 748 in most applications.

The amplifiers offer many features which make their application nearly foolproof: overload protection on the input and output, no latch-up when the common-mode range is exceeded, as well as freedom from oscillations.

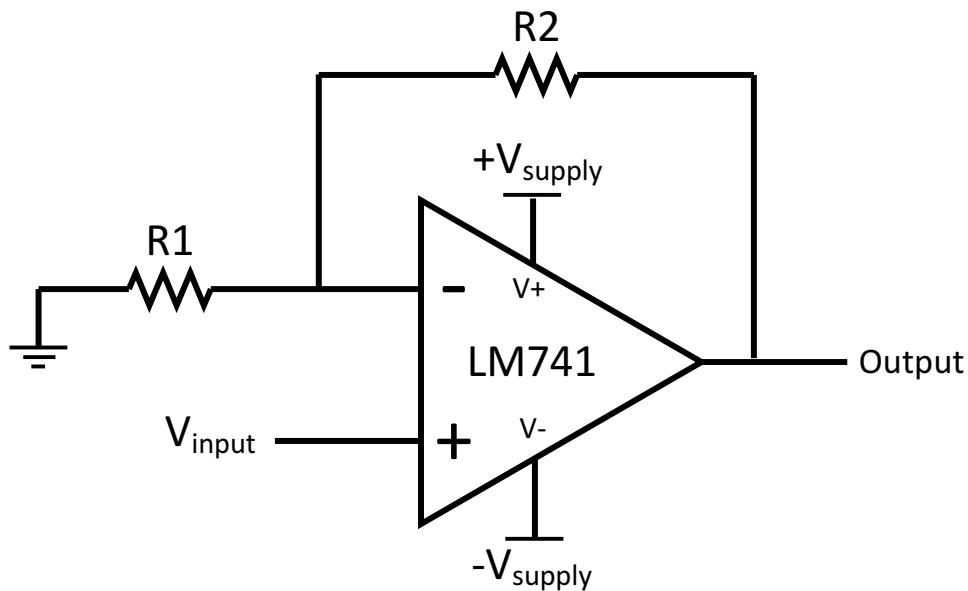
The LM741C is identical to the LM741 and LM741A except that the LM741C has their performance ensured over a 0°C to +70°C temperature range, instead of -55°C to +125°C.

### Device Information<sup>(1)</sup>

PART NUMBER	PACKAGE	BODY SIZE (NOM)
LM741	TO-99 (8)	9.08 mm × 9.08 mm
	CDIP (8)	10.16 mm × 6.502 mm
	PDIP (8)	9.81 mm × 6.35 mm

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

### Typical Application



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

## Table of Contents

<b>1 Features</b> .....	1	7.3 Feature Description.....	7
<b>2 Applications</b> .....	1	7.4 Device Functional Modes.....	8
<b>3 Description</b> .....	1	<b>8 Application and Implementation</b> .....	9
<b>4 Revision History</b> .....	2	8.1 Application Information.....	9
<b>5 Pin Configuration and Functions</b> .....	3	8.2 Typical Application .....	9
<b>6 Specifications</b> .....	4	<b>9 Power Supply Recommendations</b> .....	10
6.1 Absolute Maximum Ratings .....	4	<b>10 Layout</b> .....	11
6.2 ESD Ratings.....	4	10.1 Layout Guidelines .....	11
6.3 Recommended Operating Conditions .....	4	10.2 Layout Example .....	11
6.4 Thermal Information.....	4	<b>11 Device and Documentation Support</b> .....	12
6.5 Electrical Characteristics, LM741 .....	5	11.1 Community Resources.....	12
6.6 Electrical Characteristics, LM741A .....	5	11.2 Trademarks .....	12
6.7 Electrical Characteristics, LM741C .....	6	11.3 Electrostatic Discharge Caution.....	12
<b>7 Detailed Description</b> .....	7	11.4 Glossary .....	12
7.1 Overview .....	7	<b>12 Mechanical, Packaging, and Orderable</b> <b>Information</b> .....	12
7.2 Functional Block Diagram .....	7		

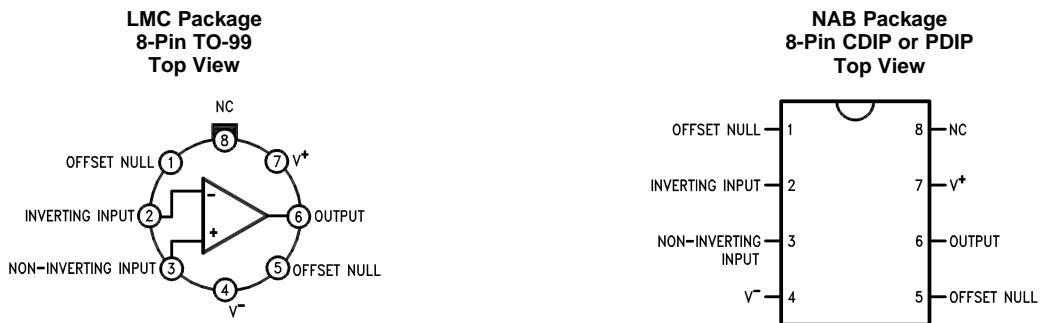
## 4 Revision History

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

Changes from Revision C (October 2004) to Revision D	Page
• Added <i>Applications</i> section, <i>Pin Configuration and Functions</i> section, <i>ESD Ratings</i> table, <i>Feature Description</i> section, <i>Device Functional Modes</i> , <i>Application and Implementation</i> section, <i>Power Supply Recommendations</i> section, <i>Layout</i> section, <i>Device and Documentation Support</i> section, and <i>Mechanical, Packaging, and Orderable Information</i> section .....	1
• Removed NAD 10-Pin CLGA pinout .....	3
• Removed obselete M (S0-8) package from the data sheet .....	4
• Added recommended operating supply voltage spec .....	4
• Added recommended operating temperature spec .....	4

Changes from Revision C (March 2013) to Revision D	Page
• Added <i>Applications</i> section, <i>Pin Configuration and Functions</i> section, <i>ESD Ratings</i> table, <i>Feature Description</i> section, <i>Device Functional Modes</i> , <i>Application and Implementation</i> section, <i>Power Supply Recommendations</i> section, <i>Layout</i> section, <i>Device and Documentation Support</i> section, and <i>Mechanical, Packaging, and Orderable Information</i> section .....	1
• Removed NAD 10-Pin CLGA pinout .....	3
• Removed obselete M (S0-8) package from the data sheet .....	4
• Added recommended operating supply voltage spec .....	4
• Added recommended operating temperature spec .....	4

## 5 Pin Configuration and Functions



LM741H is available per JM38510/10101

### Pin Functions

PIN		I/O	DESCRIPTION
NAME	NO.		
INVERTING INPUT	2	I	Inverting signal input
NC	8	N/A	No Connect, should be left floating
NONINVERTING INPUT	3	I	Noninverting signal input
OFFSET NULL	1, 5	I	Offset null pin used to eliminate the offset voltage and balance the input voltages.
OFFSET NULL			
OUTPUT	6	O	Amplified signal output
V+	7	I	Positive supply voltage
V-	4	I	Negative supply voltage

## 6 Specifications

### 6.1 Absolute Maximum Ratings

over operating free-air temperature range (unless otherwise noted)<sup>(1)(2)(3)</sup>

		MIN	MAX	UNIT	
Supply voltage	LM741, LM741A	$\pm 22$	$\pm 18$	V	
	LM741C				
Power dissipation <sup>(4)</sup>		500		mW	
Differential input voltage		$\pm 30$		V	
Input voltage <sup>(5)</sup>		$\pm 15$		V	
Output short circuit duration		Continuous			
Operating temperature	LM741, LM741A	-50	125	°C	
	LM741C	0	70		
Junction temperature	LM741, LM741A	150		°C	
	LM741C	100			
Soldering information	PDIP package (10 seconds)	260		°C	
	CDIP or TO-99 package (10 seconds)	300			
Storage temperature, $T_{stg}$		-65	150	°C	

- (1) Stresses beyond those listed under *Absolute Maximum Ratings* may cause permanent damage to the device. These are stress ratings only, which do not imply functional operation of the device at these or any other conditions beyond those indicated under *Recommended Operating Conditions*. Exposure to absolute-maximum-rated conditions for extended periods may affect device reliability.
- (2) For military specifications see RETS741X for LM741 and RETS741AX for LM741A.
- (3) If Military/Aerospace specified devices are required, please contact the TI Sales Office/Distributors for availability and specifications.
- (4) For operation at elevated temperatures, these devices must be derated based on thermal resistance, and  $T_j$  max. (listed under "Absolute Maximum Ratings").  $T_j = T_A + (\theta_{JA} P_D)$ .
- (5) For supply voltages less than  $\pm 15$  V, the absolute maximum input voltage is equal to the supply voltage.

### 6.2 ESD Ratings

		VALUE	UNIT
$V_{(ESD)}$	Electrostatic discharge	Human body model (HBM), per ANSI/ESDA/JEDEC JS-001 <sup>(1)</sup>	$\pm 400$

- (1) Level listed above is the passing level per ANSI, ESDA, and JEDEC JS-001. JEDEC document JEP155 states that 500-V HBM allows safe manufacturing with a standard ESD control process.

### 6.3 Recommended Operating Conditions

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

		MIN	NOM	MAX	UNIT
Supply voltage (VDD-GND)	LM741, LM741A	$\pm 10$	$\pm 15$	$\pm 22$	V
	LM741C	$\pm 10$	$\pm 15$	$\pm 18$	
Temperature	LM741, LM741A	-55		125	°C
	LM741C	0		70	

### 6.4 Thermal Information

THERMAL METRIC <sup>(1)</sup>	LM741			UNIT	
	LMC (TO-99)	NAB (CDIP)	P (PDIP)		
	8 PINS	8 PINS	8 PINS		
$R_{\theta JA}$	Junction-to-ambient thermal resistance	170	100	100	°C/W
$R_{\theta JC(\text{top})}$	Junction-to-case (top) thermal resistance	25	—	—	°C/W

- (1) For more information about traditional and new thermal metrics, see the *Semiconductor and IC Package Thermal Metrics* application report, [SPRA953](#).

## 6.5 Electrical Characteristics, LM741<sup>(1)</sup>

PARAMETER	TEST CONDITIONS		MIN	TYP	MAX	UNIT
Input offset voltage	$R_S \leq 10 \text{ k}\Omega$	$T_A = 25^\circ\text{C}$		1	5	mV
		$T_{A\text{MIN}} \leq T_A \leq T_{A\text{MAX}}$		6		mV
Input offset voltage adjustment range	$T_A = 25^\circ\text{C}, V_S = \pm 20 \text{ V}$		$\pm 15$			mV
Input offset current		$T_A = 25^\circ\text{C}$		20	200	nA
		$T_{A\text{MIN}} \leq T_A \leq T_{A\text{MAX}}$		85	500	
Input bias current		$T_A = 25^\circ\text{C}$		80	500	nA
		$T_{A\text{MIN}} \leq T_A \leq T_{A\text{MAX}}$		1.5		$\mu\text{A}$
Input resistance	$T_A = 25^\circ\text{C}, V_S = \pm 20 \text{ V}$		0.3	2		$\text{M}\Omega$
Input voltage range	$T_{A\text{MIN}} \leq T_A \leq T_{A\text{MAX}}$		$\pm 12$	$\pm 13$		V
Large signal voltage gain	$V_S = \pm 15 \text{ V}, V_O = \pm 10 \text{ V}, R_L \geq 2 \text{ k}\Omega$	$T_A = 25^\circ\text{C}$	50	200		V/mV
		$T_{A\text{MIN}} \leq T_A \leq T_{A\text{MAX}}$	25			
Output voltage swing	$V_S = \pm 15 \text{ V}$	$R_L \geq 10 \text{ k}\Omega$	$\pm 12$	$\pm 14$		V
		$R_L \geq 2 \text{ k}\Omega$	$\pm 10$	$\pm 13$		
Output short circuit current	$T_A = 25^\circ\text{C}$		25			mA
Common-mode rejection ratio	$R_S \leq 10 \Omega, V_{CM} = \pm 12 \text{ V}, T_{A\text{MIN}} \leq T_A \leq T_{A\text{MAX}}$		80	95		dB
Supply voltage rejection ratio	$V_S = \pm 20 \text{ V} \text{ to } V_S = \pm 5 \text{ V}, R_S \leq 10 \Omega, T_{A\text{MIN}} \leq T_A \leq T_{A\text{MAX}}$		86	96		dB
Transient response	Rise time Overshoot	$T_A = 25^\circ\text{C}$ , unity gain		0.3		$\mu\text{s}$
				5%		
Slew rate	$T_A = 25^\circ\text{C}$ , unity gain		0.5			V/ $\mu\text{s}$
Supply current	$T_A = 25^\circ\text{C}$		1.7	2.8		mA
Power consumption	$V_S = \pm 15 \text{ V}$	$T_A = 25^\circ\text{C}$	50	85		mW
		$T_A = T_{A\text{MIN}}$	60	100		
		$T_A = T_{A\text{MAX}}$	45	75		

(1) Unless otherwise specified, these specifications apply for  $V_S = \pm 15 \text{ V}, -55^\circ\text{C} \leq T_A \leq +125^\circ\text{C}$  (LM741/LM741A). For the LM741C/LM741E, these specifications are limited to  $0^\circ\text{C} \leq T_A \leq +70^\circ\text{C}$ .

## 6.6 Electrical Characteristics, LM741A<sup>(1)</sup>

PARAMETER	TEST CONDITIONS		MIN	TYP	MAX	UNIT
Input offset voltage	$R_S \leq 50 \Omega$	$T_A = 25^\circ\text{C}$		0.8	3	mV
		$T_{A\text{MIN}} \leq T_A \leq T_{A\text{MAX}}$		4		mV
Average input offset voltage drift			15			$\mu\text{V}/^\circ\text{C}$
Input offset voltage adjustment range		$T_A = 25^\circ\text{C}, V_S = \pm 20 \text{ V}$		$\pm 10$		mV
				3	30	nA
Input offset current		$T_A = 25^\circ\text{C}$		70		
		$T_{A\text{MIN}} \leq T_A \leq T_{A\text{MAX}}$				
Average input offset current drift			0.5			$\text{nA}/^\circ\text{C}$
Input bias current		$T_A = 25^\circ\text{C}$		30	80	nA
		$T_{A\text{MIN}} \leq T_A \leq T_{A\text{MAX}}$		0.21		$\mu\text{A}$
Input resistance		$T_A = 25^\circ\text{C}, V_S = \pm 20 \text{ V}$	1	6		$\text{M}\Omega$
		$T_{A\text{MIN}} \leq T_A \leq T_{A\text{MAX}}, V_S = \pm 20 \text{ V}$	0.5			
Large signal voltage gain	$V_S = \pm 20 \text{ V}, V_O = \pm 15 \text{ V}, R_L \geq 2 \text{ k}\Omega$	$T_A = 25^\circ\text{C}$	50			V/mV
		$T_{A\text{MIN}} \leq T_A \leq T_{A\text{MAX}}$	32			
		$V_S = \pm 5 \text{ V}, V_O = \pm 2 \text{ V}, R_L \geq 2 \text{ k}\Omega, T_{A\text{MIN}} \leq T_A \leq T_{A\text{MAX}}$	10			

(1) Unless otherwise specified, these specifications apply for  $V_S = \pm 15 \text{ V}, -55^\circ\text{C} \leq T_A \leq +125^\circ\text{C}$  (LM741/LM741A). For the LM741C/LM741E, these specifications are limited to  $0^\circ\text{C} \leq T_A \leq +70^\circ\text{C}$ .

### Electrical Characteristics, LM741A<sup>(1)</sup> (continued)

PARAMETER		TEST CONDITIONS		MIN	TYP	MAX	UNIT
Output voltage swing		$V_S = \pm 20 \text{ V}$		$R_L \geq 10 \text{ k}\Omega$	$\pm 16$		V
				$R_L \geq 2 \text{ k}\Omega$	$\pm 15$		
Output short circuit current		$T_A = 25^\circ\text{C}$ $T_{A\text{MIN}} \leq T_A \leq T_{A\text{MAX}}$		10		25	35
				10		40	mA
Common-mode rejection ratio		$R_S \leq 50 \Omega$ , $V_{CM} = \pm 12 \text{ V}$ , $T_{A\text{MIN}} \leq T_A \leq T_{A\text{MAX}}$		80		95	dB
Supply voltage rejection ratio		$V_S = \pm 20 \text{ V}$ to $V_S = \pm 5 \text{ V}$ , $R_S \leq 50 \Omega$ , $T_{A\text{MIN}} \leq T_A \leq T_{A\text{MAX}}$		86		96	dB
Transient response	Rise time	$T_A = 25^\circ\text{C}$ , unity gain		0.25		0.8	$\mu\text{s}$
	Overshoot			6%		20%	
Bandwidth <sup>(2)</sup>		$T_A = 25^\circ\text{C}$		0.437		1.5	MHz
Slew rate		$T_A = 25^\circ\text{C}$ , unity gain		0.3		0.7	$\text{V}/\mu\text{s}$
Power consumption		$V_S = \pm 20 \text{ V}$		$T_A = 25^\circ\text{C}$		80	150
				$T_A = T_{A\text{MIN}}$		165	mW
				$T_A = T_{A\text{MAX}}$		135	

(2) Calculated value from: BW (MHz) = 0.35/Rise Time ( $\mu\text{s}$ ).

### 6.7 Electrical Characteristics, LM741C<sup>(1)</sup>

PARAMETER		TEST CONDITIONS		MIN	TYP	MAX	UNIT
Input offset voltage		$R_S \leq 10 \text{ k}\Omega$		$T_A = 25^\circ\text{C}$	2		mV
				$T_{A\text{MIN}} \leq T_A \leq T_{A\text{MAX}}$	7.5		mV
Input offset voltage adjustment range		$T_A = 25^\circ\text{C}$ , $V_S = \pm 20 \text{ V}$		$\pm 15$			mV
Input offset current		$T_A = 25^\circ\text{C}$ $T_{A\text{MIN}} \leq T_A \leq T_{A\text{MAX}}$		20		200	nA
				300			
Input bias current		$T_A = 25^\circ\text{C}$ $T_{A\text{MIN}} \leq T_A \leq T_{A\text{MAX}}$		80		500	nA
				0.8		$\mu\text{A}$	
Input resistance		$T_A = 25^\circ\text{C}$ , $V_S = \pm 20 \text{ V}$		0.3		2	$M\Omega$
Input voltage range		$T_A = 25^\circ\text{C}$		$\pm 12$		$\pm 13$	V
Large signal voltage gain		$V_S = \pm 15 \text{ V}$ , $V_O = \pm 10 \text{ V}$ , $R_L \geq 2 \text{ k}\Omega$		$T_A = 25^\circ\text{C}$	20		V/mV
				$T_{A\text{MIN}} \leq T_A \leq T_{A\text{MAX}}$	15		
Output voltage swing		$V_S = \pm 15 \text{ V}$		$R_L \geq 10 \text{ k}\Omega$	$\pm 12$		V
				$R_L \geq 2 \text{ k}\Omega$	$\pm 10$		
Output short circuit current		$T_A = 25^\circ\text{C}$		25			mA
Common-mode rejection ratio		$R_S \leq 10 \text{ k}\Omega$ , $V_{CM} = \pm 12 \text{ V}$ , $T_{A\text{MIN}} \leq T_A \leq T_{A\text{MAX}}$		70		90	dB
Supply voltage rejection ratio		$V_S = \pm 20 \text{ V}$ to $V_S = \pm 5 \text{ V}$ , $R_S \leq 10 \Omega$ , $T_{A\text{MIN}} \leq T_A \leq T_{A\text{MAX}}$		77		96	dB
Transient response	Rise time	$T_A = 25^\circ\text{C}$ , Unity Gain		0.3			$\mu\text{s}$
	Overshoot			5%			
Slew rate		$T_A = 25^\circ\text{C}$ , Unity Gain		0.5			$\text{V}/\mu\text{s}$
Supply current		$T_A = 25^\circ\text{C}$		1.7		2.8	mA
Power consumption		$V_S = \pm 15 \text{ V}$ , $T_A = 25^\circ\text{C}$		50		85	mW

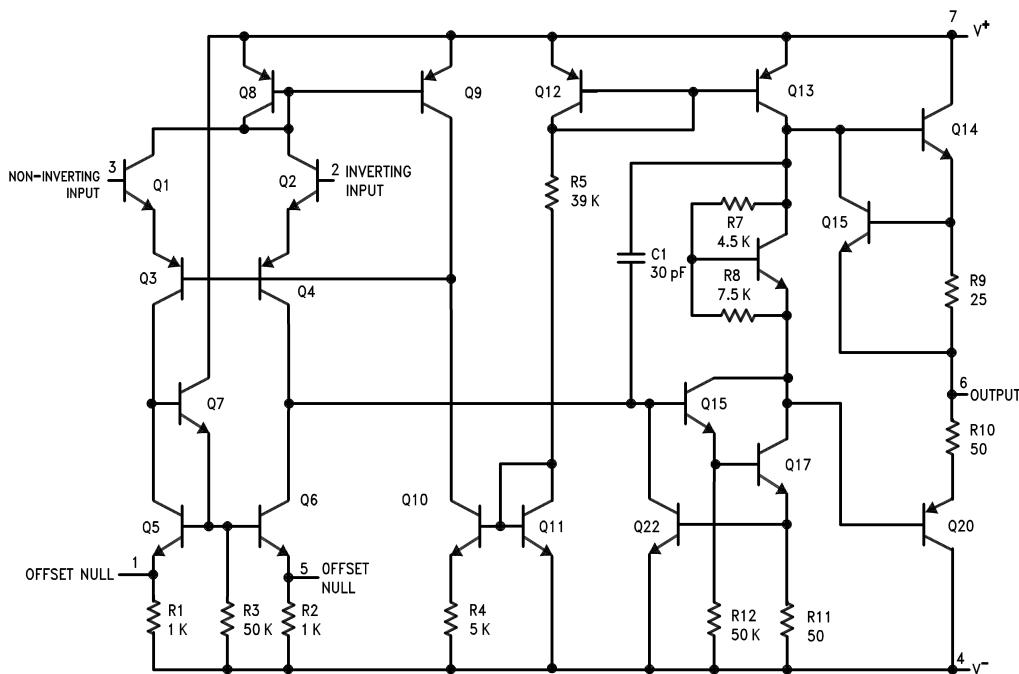
(1) Unless otherwise specified, these specifications apply for  $V_S = \pm 15 \text{ V}$ ,  $-55^\circ\text{C} \leq T_A \leq +125^\circ\text{C}$  (LM741/LM741A). For the LM741C/LM741E, these specifications are limited to  $0^\circ\text{C} \leq T_A \leq +70^\circ\text{C}$ .

## 7 Detailed Description

## 7.1 Overview

The LM74 devices are general-purpose operational amplifiers which feature improved performance over industry standards like the LM709. It is intended for a wide range of analog applications. The high gain and wide range of operating voltage provide superior performance in integrator, summing amplifier, and general feedback applications. The LM741 can operate with a single or dual power supply voltage. The LM741 devices are direct, plug-in replacements for the 709C, LM201, MC1439, and 748 in most applications.

## 7.2 Functional Block Diagram



## 7.3 Feature Description

### 7.3.1 Overload Protection

The LM741 features overload protection circuitry on the input and output. This prevents possible circuit damage to the device.

### 7.3.2 Latch-up Prevention

The LM741 is designed so that there is no latch-up occurrence when the common-mode range is exceeded. This allows the device to function properly without having to power cycle the device.

### 7.3.3 Pin-to-Pin Capability

The LM741 is pin-to-pin direct replacements for the LM709C, LM201, MC1439, and LM748 in most applications. Direct replacement capabilities allows flexibility in design for replacing obsolete parts.

## 7.4 Device Functional Modes

### 7.4.1 Open-Loop Amplifier

The LM741 can be operated in an open-loop configuration. The magnitude of the open-loop gain is typically large thus for a small difference between the noninverting and inverting input terminals, the amplifier output will be driven near the supply voltage. Without negative feedback, the LM741 can act as a comparator. If the inverting input is held at 0 V, and the input voltage applied to the noninverting input is positive, the output will be positive. If the input voltage applied to the noninverting input is negative, the output will be negative.

### 7.4.2 Closed-Loop Amplifier

In a closed-loop configuration, negative feedback is used by applying a portion of the output voltage to the inverting input. Unlike the open-loop configuration, closed loop feedback reduces the gain of the circuit. The overall gain and response of the circuit is determined by the feedback network rather than the operational amplifier characteristics. The response of the operational amplifier circuit is characterized by the transfer function.

## 8 Application and Implementation

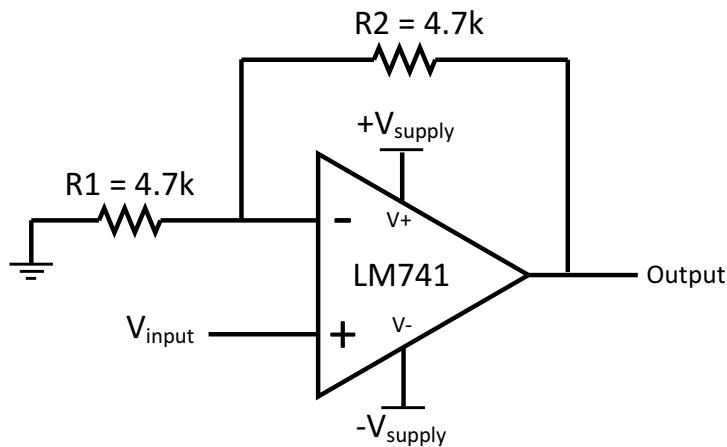
### NOTE

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

### 8.1 Application Information

The LM741 is a general-purpose amplifier than can be used in a variety of applications and configurations. One common configuration is in a noninverting amplifier configuration. In this configuration, the output signal is in phase with the input (not inverted as in the inverting amplifier configuration), the input impedance of the amplifier is high, and the output impedance is low. The characteristics of the input and output impedance is beneficial for applications that require isolation between the input and output. No significant loading will occur from the previous stage before the amplifier. The gain of the system is set accordingly so the output signal is a factor larger than the input signal.

### 8.2 Typical Application



**Figure 1. LM741 Noninverting Amplifier Circuit**

#### 8.2.1 Design Requirements

As shown in [Figure 1](#), the signal is applied to the noninverting input of the LM741. The gain of the system is determined by the feedback resistor and input resistor connected to the inverting input. The gain can be calculated by [Equation 1](#):

$$\text{Gain} = 1 + (R2/R1) \quad (1)$$

The gain is set to 2 for this application. R1 and R2 are 4.7-k resistors with 5% tolerance.

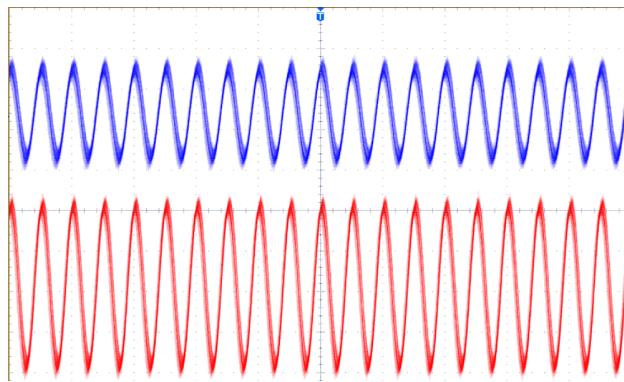
#### 8.2.2 Detailed Design Procedure

The LM741 can be operated in either single supply or dual supply. This application is configured for dual supply with the supply rails at  $\pm 15$  V. The input signal is connected to a function generator. A 1-Vpp, 10-kHz sine wave was used as the signal input. 5% tolerance resistors were used, but if the application requires an accurate gain response, use 1% tolerance resistors.

## Typical Application (continued)

### 8.2.3 Application Curve

The waveforms in [Figure 2](#) show the input and output signals of the LM741 non-inverting amplifier circuit. The blue waveform (top) shows the input signal, while the red waveform (bottom) shows the output signal. The input signal is 1.06 V<sub>pp</sub> and the output signal is 1.94 V<sub>pp</sub>. With the 4.7-k $\Omega$  resistors, the theoretical gain of the system is 2. Due to the 5% tolerance, the gain of the system including the tolerance is 1.992. The gain of the system when measured from the mean amplitude values on the oscilloscope was 1.83.



**Figure 2. Waveforms for LM741 Noninverting Amplifier Circuit**

## 9 Power Supply Recommendations

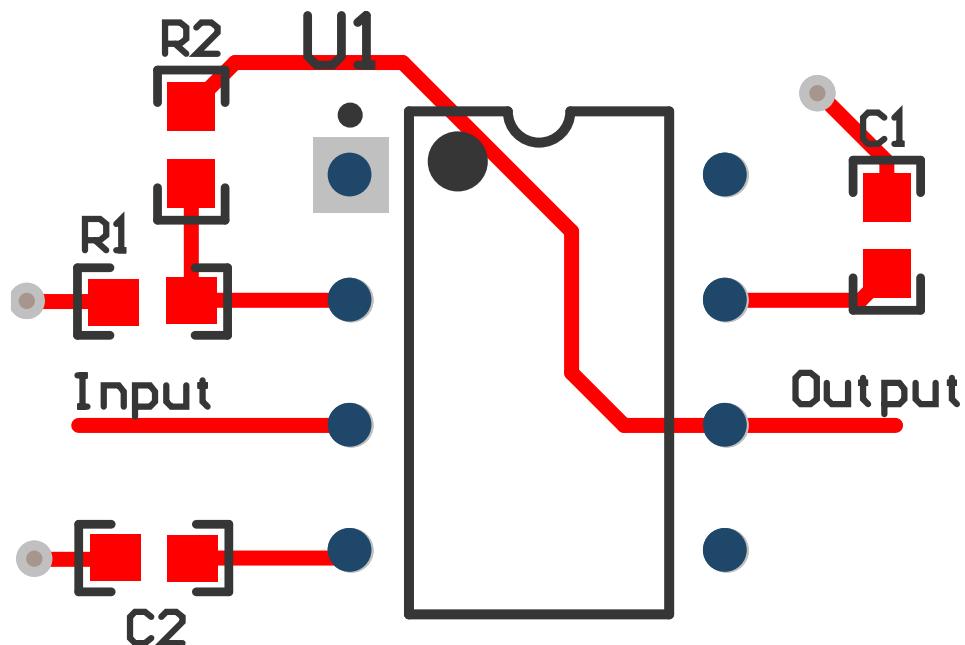
For proper operation, the power supplies must be properly decoupled. For decoupling the supply lines, a 0.1- $\mu$ F capacitor is recommended and should be placed as close as possible to the LM741 power supply pins.

## 10 Layout

### 10.1 Layout Guidelines

As with most amplifiers, take care with lead dress, component placement, and supply decoupling in order to ensure stability. For example, resistors from the output to an input should be placed with the body close to the input to minimize pick-up and maximize the frequency of the feedback pole by minimizing the capacitance from the input to ground. As shown in [Figure 3](#), the feedback resistors and the decoupling capacitors are located close to the device to ensure maximum stability and noise performance of the system.

### 10.2 Layout Example



**Figure 3. LM741 Layout**

## 11 Device and Documentation Support

### 11.1 Community Resources

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

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

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

### 11.2 Trademarks

E2E is a trademark of Texas Instruments.

All other trademarks are the property of their respective owners.

### 11.3 Electrostatic Discharge Caution

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

### 11.4 Glossary

**SLYZ022 — TI Glossary.**

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

## 12 Mechanical, Packaging, and Orderable Information

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



www.ti.com

## PACKAGE OPTION ADDENDUM

27-Jul-2016

### PACKAGING INFORMATION

Orderable Device	Status (1)	Package Type	Package Drawing	Pins	Package Qty	Eco Plan (2)	Lead/Ball Finish (6)	MSL Peak Temp (3)	Op Temp (°C)	Device Marking (4/5)	Samples
LM741C-MWC	ACTIVE	WAFERSALE	YS	0	1	Green (RoHS & no Sb/Br)	Call TI	Level-1-NA-UNLIM	-40 to 85		<a href="#">Samples</a>
LM741CH	ACTIVE	TO-99	LMC	8	500	TBD	Call TI	Call TI	0 to 70	( LM741CH ~ LM741CH)	<a href="#">Samples</a>
LM741CH/NOPB	ACTIVE	TO-99	LMC	8	500	Green (RoHS & no Sb/Br)	Call TI	Level-1-NA-UNLIM	0 to 70	( LM741CH ~ LM741CH)	<a href="#">Samples</a>
LM741CN/NOPB	ACTIVE	PDIP	P	8	40	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU SN	Level-1-NA-UNLIM	0 to 70	LM 741CN	<a href="#">Samples</a>
LM741H	ACTIVE	TO-99	LMC	8	500	TBD	Call TI	Call TI	-55 to 125	( LM741H ~ LM741H)	<a href="#">Samples</a>
LM741H/NOPB	ACTIVE	TO-99	LMC	8	500	Green (RoHS & no Sb/Br)	Call TI	Level-1-NA-UNLIM	-55 to 125	( LM741H ~ LM741H)	<a href="#">Samples</a>
LM741J	ACTIVE	CDIP	NAB	8	40	TBD	Call TI	Call TI	-55 to 125	LM741J	<a href="#">Samples</a>
U5B7741312	ACTIVE	TO-99	LMC	8	500	TBD	Call TI	Call TI	-55 to 125	( LM741H ~ LM741H)	<a href="#">Samples</a>
U5B7741393	ACTIVE	TO-99	LMC	8	500	TBD	Call TI	Call TI	0 to 70	( LM741CH ~ LM741CH)	<a href="#">Samples</a>
U9T7741393	OBSOLETE	PDIP	P	8		TBD	Call TI	Call TI	0 to 70	LM 741CN	

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

**ACTIVE:** Product device recommended for new designs.

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

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

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

**OBSOLETE:** TI has discontinued the production of the device.

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

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

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

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

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



www.ti.com

## PACKAGE OPTION ADDENDUM

27-Jul-2016

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

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

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

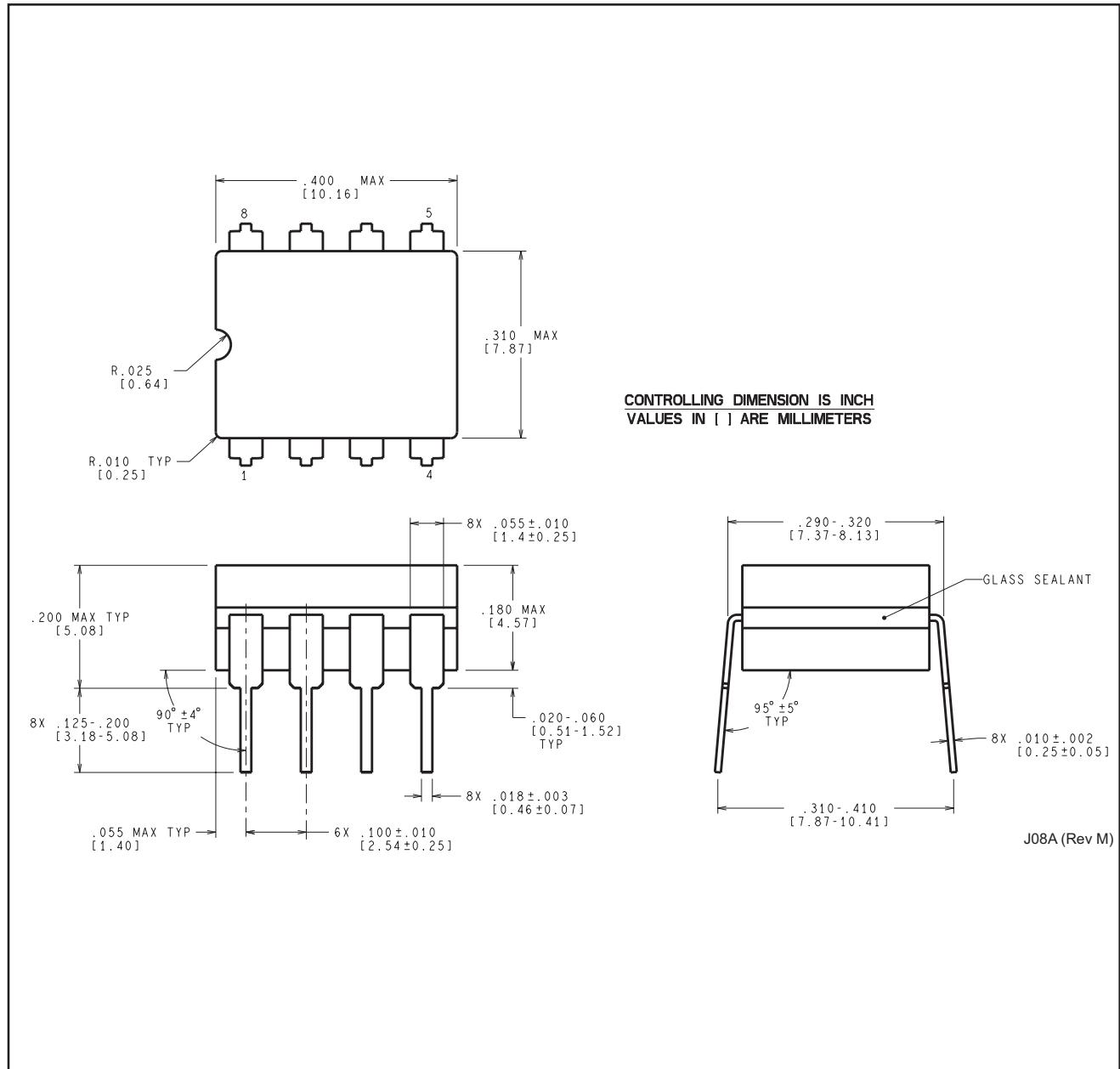
(6) Lead/Ball Finish - Orderable Devices may have multiple material finish options. Finish options are separated by a vertical ruled line. Lead/Ball Finish values may wrap to two lines if the finish value exceeds the maximum column width.

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

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

## MECHANICAL DATA

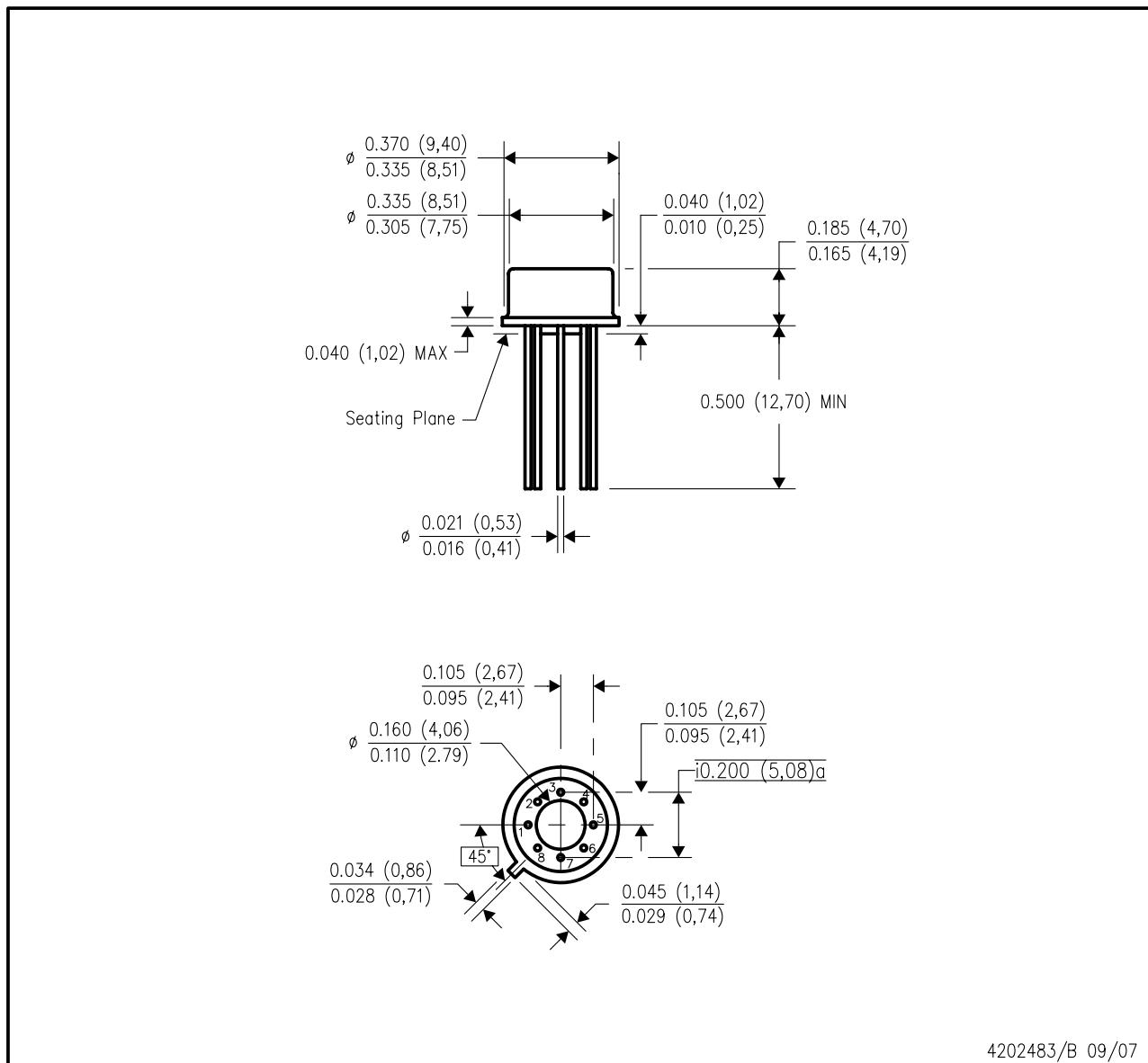
NAB008A



## MECHANICAL DATA

**LMC (O-MBCY-W8)**

**METAL CYLINDRICAL PACKAGE**

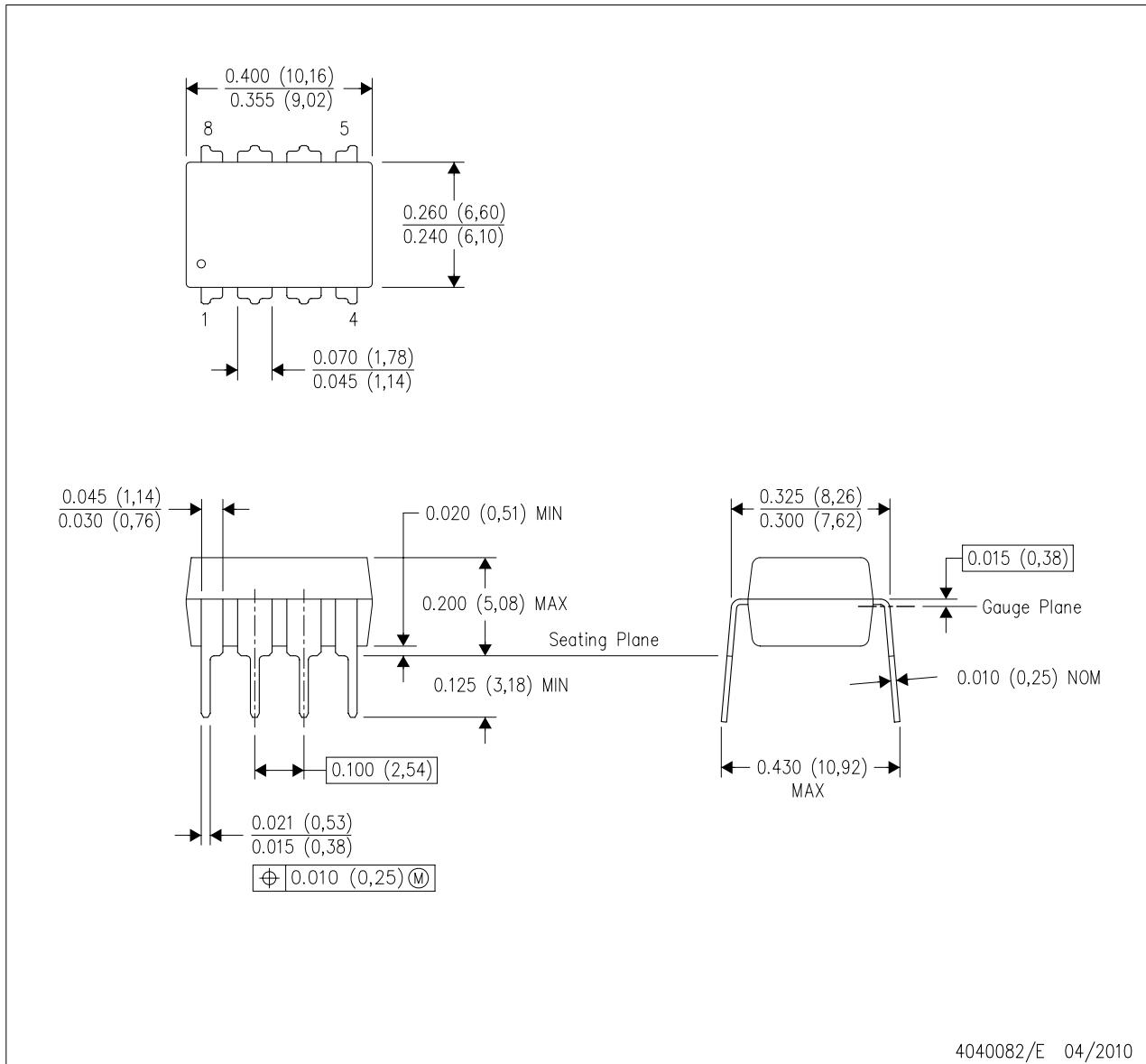


- NOTES:
- All linear dimensions are in inches (millimeters).
  - This drawing is subject to change without notice.
  - Leads in true position within 0.010 (0,25) R @ MMC at seating plane.
  - Pin numbers shown for reference only. Numbers may not be marked on package.
  - Falls within JEDEC MO-002/T0-99.

## MECHANICAL DATA

P (R-PDIP-T8)

PLASTIC DUAL-IN-LINE PACKAGE



- NOTES:
- A. All linear dimensions are in inches (millimeters).
  - B. This drawing is subject to change without notice.
  - C. Falls within JEDEC MS-001 variation BA.

## IMPORTANT NOTICE

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Products	Applications
Audio	<a href="http://www.ti.com/audio">www.ti.com/audio</a>
Amplifiers	<a href="http://amplifier.ti.com">amplifier.ti.com</a>
Data Converters	<a href="http://dataconverter.ti.com">dataconverter.ti.com</a>
DLP® Products	<a href="http://www.dlp.com">www.dlp.com</a>
DSP	<a href="http://dsp.ti.com">dsp.ti.com</a>
Clocks and Timers	<a href="http://www.ti.com/clocks">www.ti.com/clocks</a>
Interface	<a href="http://interface.ti.com">interface.ti.com</a>
Logic	<a href="http://logic.ti.com">logic.ti.com</a>
Power Mgmt	<a href="http://power.ti.com">power.ti.com</a>
Microcontrollers	<a href="http://microcontroller.ti.com">microcontroller.ti.com</a>
RFID	<a href="http://www.ti-rfid.com">www.ti-rfid.com</a>
OMAP Applications Processors	<a href="http://www.ti.com/omap">www.ti.com/omap</a>
Wireless Connectivity	<a href="http://www.ti.com/wirelessconnectivity">www.ti.com/wirelessconnectivity</a>
	<b>TI E2E Community</b>
	<a href="http://e2e.ti.com">e2e.ti.com</a>

### COMPLEMENTARY SILICON PLASTIC POWER TRANSISTORS

... designed for use in general purpose power amplifier and switching applications.

#### FEATURES:

- \* Collector-Emitter Sustaining Voltage -

$V_{CEO(\text{sat})}$  = 40V(Min)- TIP31,TIP32  
60V(Min)- TIP31A,TIP32A  
80V(Min)- TIP31B,TIP32B  
100V(Min)-TIP31C,TIP32C

- \* Collector-Emitter Saturation Voltage-  $V_{CE(\text{sat})}$ =1.2V(Max)@ $I_C$  = 3.0 A

- \* Current Gain-Bandwidth Product  $f_T$ =3.0 MHz (Min)@  $I_C$ =500 mA

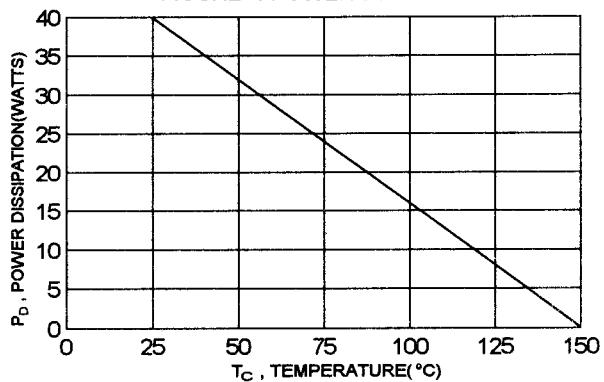
#### MAXIMUM RATINGS

Characteristic	Symbol	TIP31 TIP32	TIP31A TIP32A	TIP31B TIP32B	TIP31C TIP32C	Unit
Collector-Emitter Voltage	$V_{CEO}$	40	60	80	100	V
Collector-Base Voltage	$V_{CBO}$	40	60	80	100	V
Emitter-Base Voltage	$V_{EBO}$			5.0		V
Collector Current - Continuous - Peak	$I_C$			3.0 5.0		A
Base Current	$I_B$			1.0		A
Total Power Dissipation@ $T_c$ = 25°C Derate above 25°C	$P_D$			40 0.32		W W/°C
Operating and Storage Junction Temperature Range	$T_J, T_{STG}$			-65 to +150		°C

#### THERMAL CHARACTERISTICS

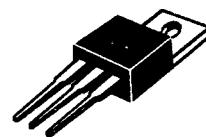
Characteristic	Symbol	Max	Unit
Thermal Resistance Junction to Case	$R_{\theta jc}$	3.125	°C/W

FIGURE -1 POWER DERATING

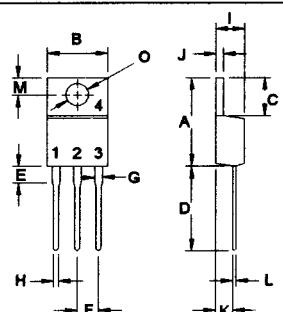


NPN	PNP
TIP31	TIP32
TIP31A	TIP32A
TIP31B	TIP32B
TIP31C	TIP32C

**3 AMPERE**  
**COMPLEMENTARY SILICON**  
**POWER TRANSISTORS**  
**40 -100 VOLTS**  
**40 WATTS**



TO-220



PIN 1.BASE  
2.COLLECTOR  
3.EMITTER  
4.COLLECTOR(CASE)

DIM	MILLIMETERS	
	MIN	MAX
A	14.68	15.31
B	9.78	10.42
C	5.01	6.52
D	13.06	14.62
E	3.57	4.07
F	2.42	3.66
G	1.12	1.36
H	0.72	0.96
I	4.22	4.98
J	1.14	1.38
K	2.20	2.97
L	0.33	0.55
M	2.48	2.98
O	3.70	3.90

**TIP31, TIP31A, TIP31B, TIP31C NPN / TIP32, TIP32A, TIP32B, TIP32C PNP**

**ELECTRICAL CHARACTERISTICS (  $T_c = 25^\circ\text{C}$  unless otherwise noted )**

Characteristic	Symbol	Min	Max	Unit
----------------	--------	-----	-----	------

**OFF CHARACTERISTICS**

Collector-Emitter Sustaining Voltage(1) ( $I_c = 30 \text{ mA}, I_B = 0$ )	TIP31,TIP32 TIP31A,TIP32A TIP31B,TIP32B TIP31C,TIP32C	$V_{CEO(\text{sus})}$	40 60 80 100	V
Collector Cutoff Current ( $V_{CE} = 30 \text{ V}, I_B = 0$ ) ( $V_{CE} = 60 \text{ V}, I_B = 0$ )	TIP31,TIP32,TIP31A,TIP32A TIP31B,TIP32B,TIP31C,TIP32C	$I_{CEO}$	0.3 0.3	mA
Collector Cutoff Current ( $V_{CE} = 40 \text{ V}, V_{EB} = 0$ ) ( $V_{CE} = 60 \text{ V}, V_{EB} = 0$ ) ( $V_{CE} = 80 \text{ V}, V_{EB} = 0$ ) ( $V_{CE} = 100 \text{ V}, V_{EB} = 0$ )	TIP31,TIP32 TIP31A,TIP32A TIP31B,TIP32B TIP31C,TIP32C	$I_{CES}$	0.2 0.2 0.2 0.2	mA
Emitter Cutoff Current ( $V_{EB} = 5.0 \text{ V}, I_c = 0$ )		$I_{EBO}$	1.0	mA

**ON CHARACTERISTICS (1)**

DC Current Gain ( $I_c = 1.0 \text{ A}, V_{CE} = 4.0 \text{ V}$ ) ( $I_c = 3.0 \text{ A}, V_{CE} = 4.0 \text{ V}$ )	$h_{FE}$	25 10	50	
Collector-Emitter Saturation Voltage ( $I_c = 3.0 \text{ A}, I_B = 375 \text{ mA}$ )	$V_{CE(\text{sat})}$		1.2	V
Base-Emitter On Voltage ( $I_c = 3.0 \text{ A}, V_{CE} = 4.0 \text{ V}$ )	$V_{BE(\text{on})}$		1.8	V

**DYNAMIC CHARACTERISTICS**

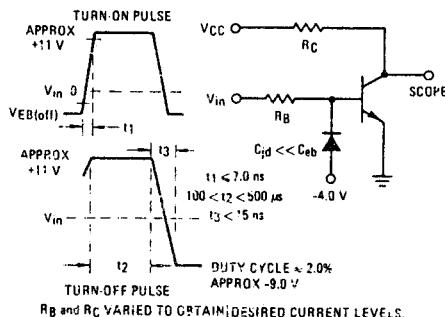
Current Gain - Bandwidth Product (2) ( $I_c = 500 \text{ mA}, V_{CE} = 10 \text{ V}, f_{TEST} = 1 \text{ MHz}$ )	$f_T$	3.0		MHz
Small Signal Current Gain ( $I_c = 500 \text{ mA}, V_{CE} = 10 \text{ V}, f = 1 \text{ kHz}$ )	$h_{fe}$	20		

(1) Pulse Test: Pulse width  $\leq 300 \mu\text{s}$ , Duty Cycle  $\leq 2.0 \%$

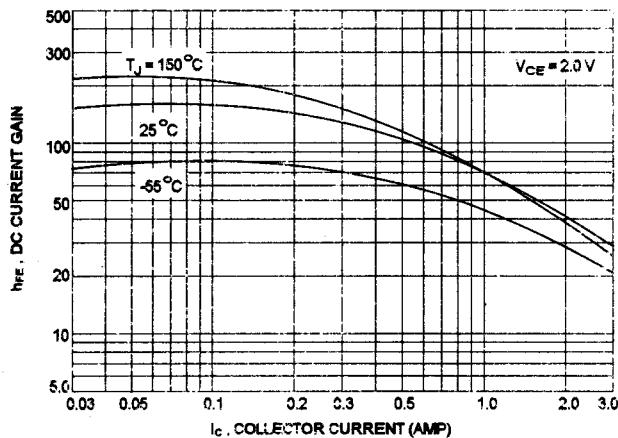
(2)  $f_T = |h_{fe}| \cdot f_{TEST}$

# TIP31, TIP31A, TIP31B, TIP31C NPN / TIP32, TIP32A, TIP32B, TIP32C PNP

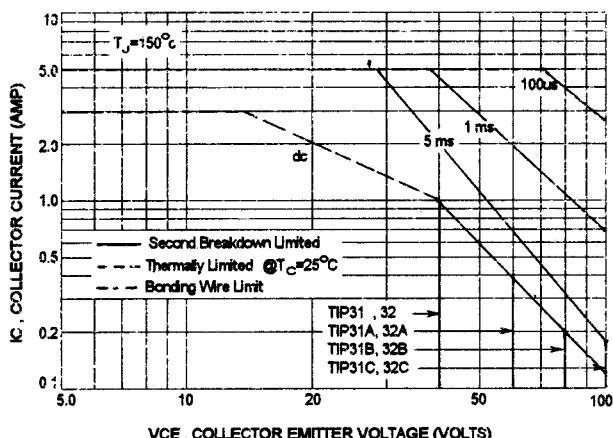
**FIGURE 2 – SWITCHING TIME EQUIVALENT CIRCUIT**



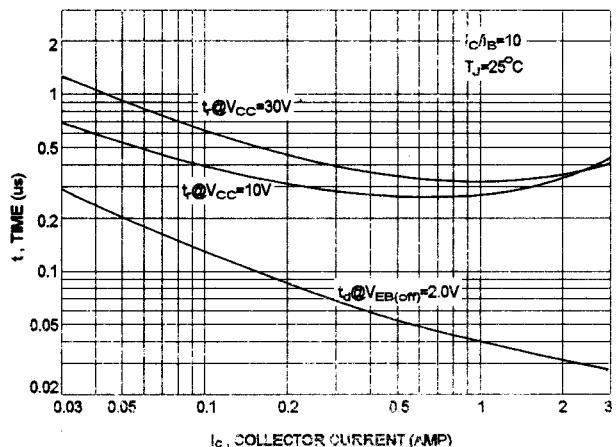
**FIG-4 DC CURRENT GAIN**



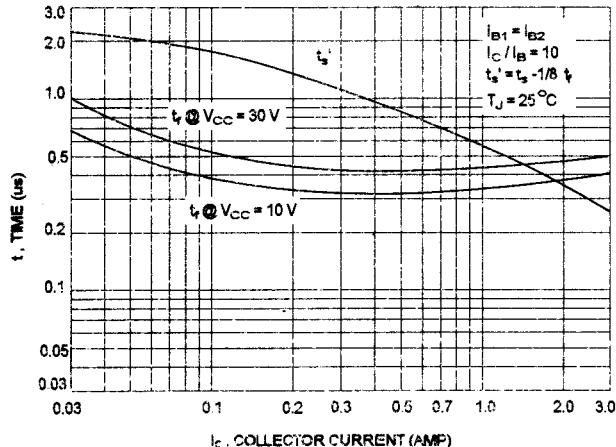
**FIG-6 ACTIVE REGION SAFE OPERATING AREA**



**FIG-3 TURN-ON TIME**



**FIG-5 TURN-OFF TIME**



There are two limitation on the power handling ability of a transistor: average junction temperature and second breakdown. Safe operating area curves indicate  $I_C$ - $V_{CE}$  limits of the transistor that must be observed for reliable operation i.e., the transistor must not be subjected to greater dissipation than curves indicate.

The data of FIG-6 curve is base on  $T_{J(PK)} = 150^\circ\text{C}$ ;  $T_c$  is variable depending on power level. second breakdown pulse limits are valid for duty cycles to 10% provided  $T_{J(PK)} \leq 150^\circ\text{C}$ . At high case temperatures, thermal limitation will reduce the power that can be handled to values less than the limitations imposed by second breakdown.

## TIP31,TIP31A,TIP31B,TIP31C NPN / TIP32,TIP32A,TIP32B,TIP32C PNP

---

FIG-7 COLLECTOR SATURATION REGION

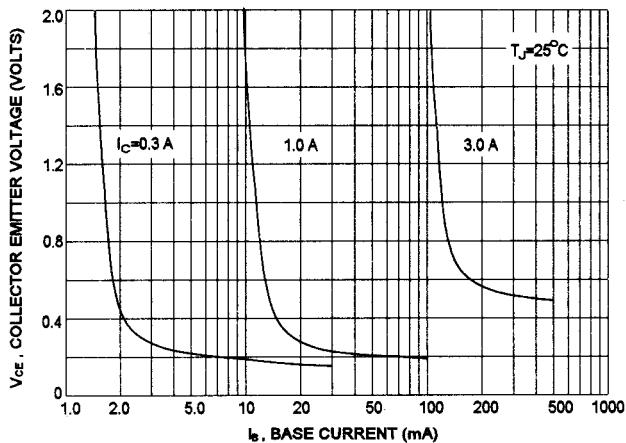


FIG-8 CAPACITANCES

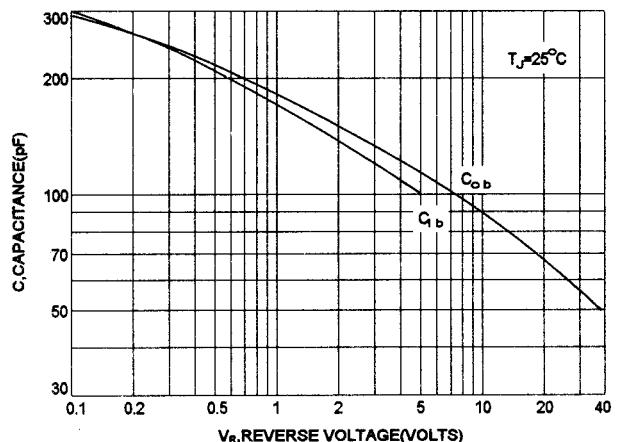


FIG-9 "ON" VOLTAGE

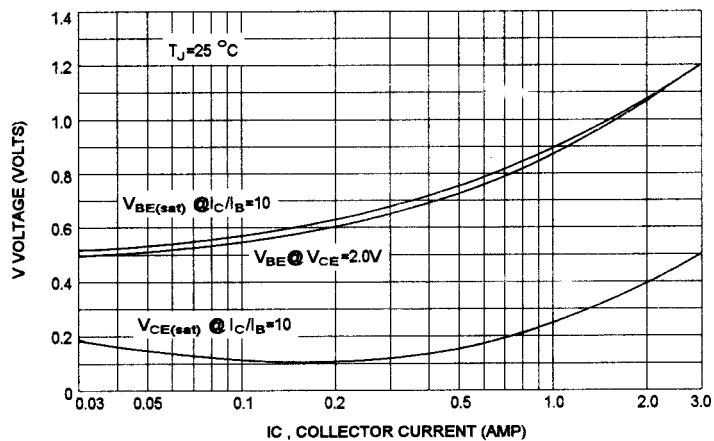
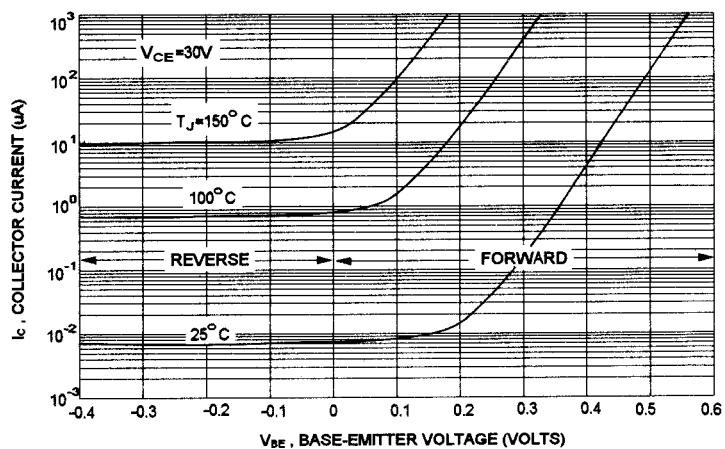


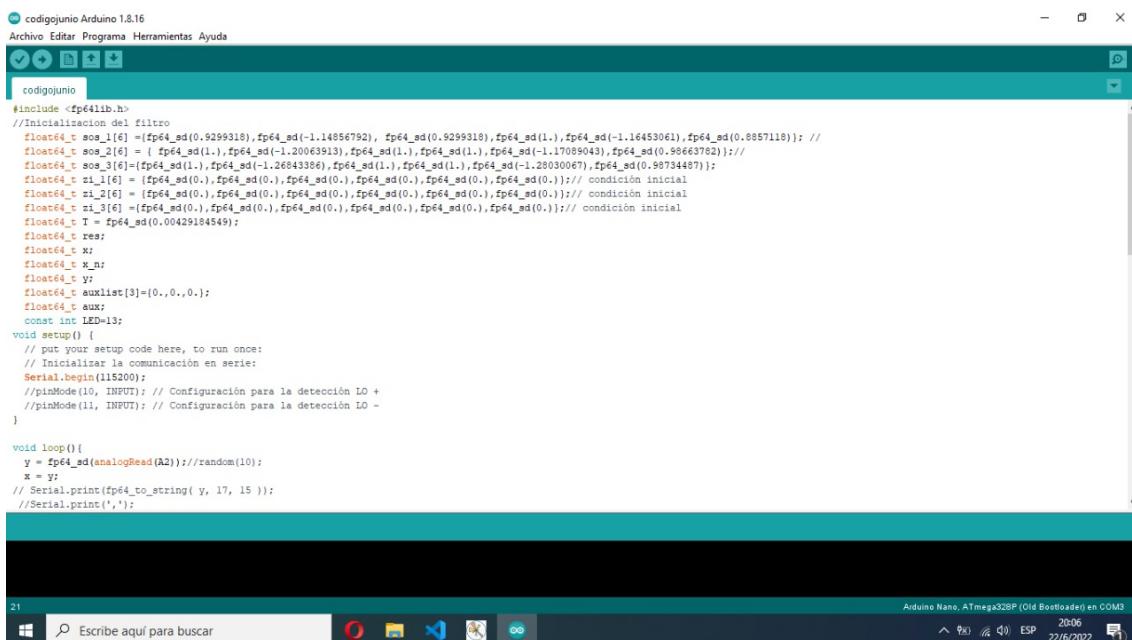
FIG-10 COLLECTOR CUT-OFF REGION





# Códigos

## Código de arduino de lectura y visualización de señal



```
codigojunior
#include <fp64lib.h>
//Inicialización del filtro
float64_t sos_1[6] = {fp64_sd(0.9299318), fp64_sd(-1.14856792), fp64_sd(0.9299318), fp64_sd(1.), fp64_sd(-1.16453061), fp64_sd(0.8857118)}; // 
float64_t sos_2[6] = { fp64_sd(1.), fp64_sd(-1.20063913),fp64_sd(1.),fp64_sd(1.),fp64_sd(-1.17089043),fp64_sd(0.98663782)};//
float64_t sos_3[6] = {fp64_sd(1.),fp64_sd(1.),fp64_sd(-1.26843386),fp64_sd(1.),fp64_sd(1.),fp64_sd(-1.28030067),fp64_sd(0.98734487)};//
float64_t zi_1[6] = {fp64_sd(0.),fp64_sd(0.),fp64_sd(0.),fp64_sd(0.),fp64_sd(0.)};// condición inicial
float64_t zi_2[6] = {fp64_sd(0.),fp64_sd(0.),fp64_sd(0.),fp64_sd(0.),fp64_sd(0.)};// condición inicial
float64_t zi_3[6] = {fp64_sd(0.),fp64_sd(0.),fp64_sd(0.),fp64_sd(0.),fp64_sd(0.)};// condición inicial
float64_t T = fp64_sd(0.00429184549);
float64_t res;
float64_t x;
float64_t x_n;
float64_t y;
float64_t auxlist[3]={0.,0.,0.};
float64_t aux;
const int LED=13;
void setup() {
  // put your setup code here, to run once:
  // Inicializar la comunicación en serie:
  Serial.begin(115200);
  //pinMode(10, INPUT); // Configuración para la detección LO +
  //pinMode(11, INPUT); // Configuración para la detección LO -
}

void loop(){
  y = fp64_sd(analogRead(A2));//random(10);
  x = y;
  // Serial.print(fp64_to_string(y, 17, 15 ));
  //Serial.print(',');
}


```

Figura B.1: Código de arduino

```

void loop(){
    y = fp64_sd(analogRead(A2)); //random(10);
    x = y;
    // Serial.print(fp64_to_string(y, 17, 15));
    //Serial.print(',');
    //delay(1);

    x_n = x;
    //x = sos_1[0] * x_n + zi_1[0];
    x = fp64_add(fp64_mul(sos_1[0], x_n), zi_1[0]);
    //zi_1[0] = (sos_1[1] * x_n - sos_1[4] * x + zi_1[1]);
    zi_1[0] = fp64_add(fp64_sub(fp64_mul(sos_1[1], x_n), fp64_mul(sos_1[4], x)), zi_1[1]);
    //zi_1[1] = (sos_1[2] * x_n - sos_1[5] * x);
    zi_1[1] = fp64_sub(fp64_mul(sos_1[2], x_n), fp64_mul(sos_1[5], x));

    x_n=x;
    //x = sos_2[0] * x_n + zi_2[0];
    x = fp64_add(fp64_mul(sos_2[0], x_n), zi_2[0]);
    //zi_2[0] = (sos_2[1] * x_n - sos_2[4] * x + zi_2[1]);
    zi_2[0] = fp64_add(fp64_sub(fp64_mul(sos_2[1], x_n), fp64_mul(sos_2[4], x)), zi_2[1]);
    //zi_2[1] = (sos_2[2] * x_n - sos_2[5] * x);
    zi_2[1] = fp64_sub(fp64_mul(sos_2[2], x_n), fp64_mul(sos_2[5], x));

    x_n=x;
    //x = sos_3[0] * x_n + zi_3[0];
    x = fp64_add(fp64_mul(sos_3[0], x_n), zi_3[0]);
    //zi_3[0] = (sos_3[1] * x_n - sos_3[4] * x + zi_3[1]);
    zi_3[0] = fp64_add(fp64_sub(fp64_mul(sos_3[1], x_n), fp64_mul(sos_3[4], x)), zi_3[1]);
    //zi_3[1] = (sos_3[2] * x_n - sos_3[5] * x);
    zi_3[1] = fp64_sub(fp64_mul(sos_3[2], x_n), fp64_mul(sos_3[5], x));
    Serial.println(fp64_to_string(x, 17, 15));
    // Serial.println(",");
    //delay(1);
    //FinBloque de filtrado
    //Derivada y detección de umbral
    // auxlist[2]=auxlist[1];
    // auxlist[1]=auxlist[0];
    // auxlist[0]=x;
    // aux_fp64_sub(auxlist[2], fp64_mul(fp64_sd(4.), auxlist[1]));
    // aux_fp64_add(aux, fp64_mul(fp64_sd(3.), auxlist[0]));
    // res=fp64_div(aux, fp64_mul(fp64_sd(2., T)));
    // Serial.println(fp64_to_string(res, 17, 15));
    //delay(1);
    // if (res>(200000.)){
    //   /Acciones
    //   digitalWrite(LED,HIGH);
    //   /delay(1000);
    // }
    // else{
    //   digitalWrite(LED,LOW);
    // }
}

```

Figura B.2: Código de arduino

```

void loop(){
    y = fp64_sd(analogRead(A2)); //random(10);
    x = y;
    // Serial.print(fp64_to_string(y, 17, 15));
    //Serial.print(',');
    //delay(1);

    x_n = x;
    //x = sos_1[0] * x_n + zi_1[0];
    x = fp64_add(fp64_mul(sos_1[0], x_n), zi_1[0]);
    //zi_1[0] = (sos_1[1] * x_n - sos_1[4] * x + zi_1[1]);
    zi_1[0] = fp64_add(fp64_sub(fp64_mul(sos_1[1], x_n), fp64_mul(sos_1[4], x)), zi_1[1]);
    //zi_1[1] = (sos_1[2] * x_n - sos_1[5] * x);
    zi_1[1] = fp64_sub(fp64_mul(sos_1[2], x_n), fp64_mul(sos_1[5], x));

    x_n = x;
    //x = sos_2[0] * x_n + zi_2[0];
    x = fp64_add(fp64_mul(sos_2[0], x_n), zi_2[0]);
    //zi_2[0] = (sos_2[1] * x_n - sos_2[4] * x + zi_2[1]);
    zi_2[0] = fp64_add(fp64_sub(fp64_mul(sos_2[1], x_n), fp64_mul(sos_2[4], x)), zi_2[1]);
    //zi_2[1] = (sos_2[2] * x_n - sos_2[5] * x);
    zi_2[1] = fp64_sub(fp64_mul(sos_2[2], x_n), fp64_mul(sos_2[5], x));

    x_n = x;
    //x = sos_3[0] * x_n + zi_3[0];
    x = fp64_add(fp64_mul(sos_3[0], x_n), zi_3[0]);
    //zi_3[0] = (sos_3[1] * x_n - sos_3[4] * x + zi_3[1]);
    zi_3[0] = fp64_add(fp64_sub(fp64_mul(sos_3[1], x_n), fp64_mul(sos_3[4], x)), zi_3[1]);
    //zi_3[1] = (sos_3[2] * x_n - sos_3[5] * x);
    zi_3[1] = fp64_sub(fp64_mul(sos_3[2], x_n), fp64_mul(sos_3[5], x));
    Serial.println(fp64_to_string(x, 17, 15));
    // Serial.println(",");
    //delay(1);
    //FinBloque de filtrado
    //Derivada y detección de umbral
    // auxlist[2]=auxlist[1];
    // auxlist[1]=auxlist[0];
    // auxlist[0]=x;
    // aux_fp64_sub(auxlist[2], fp64_mul(fp64_sd(4.), auxlist[1]));
    // aux_fp64_add(aux, fp64_mul(fp64_sd(3.), auxlist[0]));
    // res=fp64_div(aux, fp64_mul(fp64_sd(2., T)));
    // Serial.println(fp64_to_string(res, 17, 15));
    //delay(1);
    // if (res>(200000.)){
    //   /Acciones
    //   digitalWrite(LED,HIGH);
    //   /delay(1000);
    // }
    // else{
    //   digitalWrite(LED,LOW);
    // }
}

```

Figura B.3: Código de arduino

## Código del filtro digital Notch en Python

The screenshot shows a Visual Studio Code window with the following details:

- Title Bar:** Archivo, Editar, Selección, Ver, Ir, Ejecutar, Terminal, Ayuda, filter\_bandstop.py - Visual Studio Code.
- File List:** filter\_bandstop.py
- Code Editor:** The code is written in Python. It imports numpy, matplotlib, and scipy. It defines sampling frequencies (fs=1980, fs=347), Nyquist frequencies (ny\_fr = fs/2), and filter corner frequencies (wp = [48/ny\_fr, 52/ny\_fr], ws = [48.8/ny\_fr, 51.2/ny\_fr]). It uses signal.iirdesign to create a bandstop system with gpass=1 and gstop=25. The print statement shows the system's numerator (b) and denominator (a). The code then prints the elements of b, separated by commas.
- Status Bar:** Lí. 1, col. 1 Espacios: 4 UTF-8 LF Python 3.10.4 64-bit (system) 19:50 22/6/2022

Figura B.4: Filtro digital en Python

The screenshot shows a Visual Studio Code window with the following details:

- Title Bar:** Archivo, Editar, Selección, Ver, Ir, Ejecutar, Terminal, Ayuda, filter\_bandstop.py - Visual Studio Code.
- File List:** filter\_bandstop.py
- Code Editor:** The code plots the frequency response of the digital filter. It uses signal.freqz to get the magnitude and signal.sosfreqz to get the filter coefficients. It then creates two subplots: ax1 for the magnitude plot ('Digital filter frequency response') and ax2 for the angle plot ('Angle (radians)'). Both plots have logarithmic scales for the magnitude axis and linear scales for the frequency axis. The x-axis for both is labeled 'Frequency [Hz]' and the y-axis for ax1 is 'Amplitude [dB]'. The angle plot has an x-axis labeled 'Frequency [rad/sample]' and a y-axis labeled 'Angle (radians)'.
- Status Bar:** Lí. 1, col. 1 Espacios: 4 UTF-8 LF Python 3.10.4 64-bit 19:52 22/6/2022

Figura B.5: Filtro digital en Python

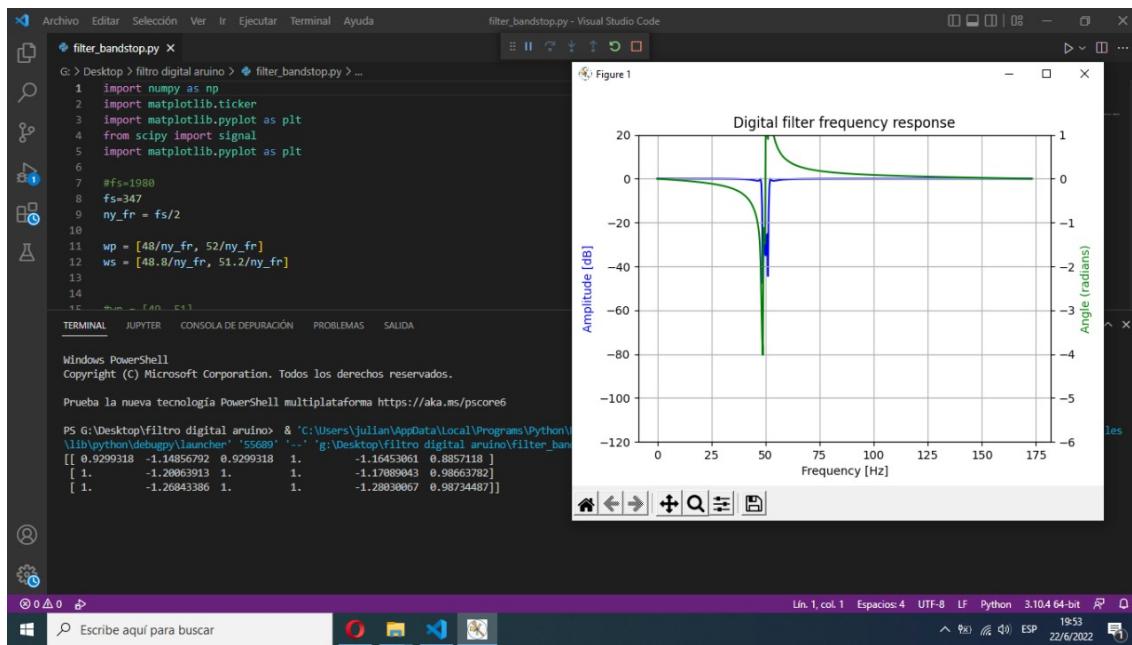


Figura B.6: Filtro digital en Python