



Informe Técnico

Banco de Instrumentación electrónico para la realización de prácticas de física y matemáticas del bachillerato

Damián Zamacona Juan Ricardo

Garcés Madrigal Antonio Martín

Quintana Thierry Sergio

Hernández Marín Paola Monserrat

Paz Sánchez Alejandro

agosto de 2025

Proyecto financiado internamente

Institución Patrocinadora: PAPIME

Financiamiento: Interno

Banco de Instrumentación electrónico para la realización de prácticas de física y matemáticas del bachillerato

Damián Zamacona Juan Ricardo

Antonio Martín Garcés Madrigal

Quintana Thierry Sergio

Hernández Marín Paola Monserrat

Paz Sánchez Alejandro

Instituto de Ciencias Aplicadas y Tecnología, Circuito Exterior S/N, C.P. 04510, A.P.70-186, Universidad Nacional Autónoma de México, D.F., México.

Resumen

En este trabajo, se presenta el diseño y construcción de un prototipo de banco de pruebas, para la realización de algunos proyectos relacionados con las materias de física y matemáticas del bachillerato de la UNAM. Tiene la finalidad de presentar a los alumnos y profesores de manera física y tangible, la factibilidad de desarrollo de algunos proyectos que parecieran complicados, pero que, al verlos funcionar, los alumnos son motivados para que ellos mismos los armen y desarrollen. Teniendo el modelo a seguir y las metas claras a alcanzar, los alumnos podrán seguir una secuencia determinada para lograr el objetivo planteado. Para ello, se les proporciona una metodología que les permita ir ensamblando paso a paso el proyecto en cuestión y lograr finalmente, el funcionamiento del prototipo seleccionado. El banco de pruebas cuenta con diversos proyectos a elegir, entre estos, se tiene un electrocardiógrafo, un estetoscopio electrónico, un medidor de pulsos cardíacos y un seguidor de una fuente luminosa. Con estos proyectos se ponen en práctica diversos conceptos abordados en las materias curriculares del bachillerato, tales como concepto de ondas eléctricas y acústica, electricidad, abordando temas como resistencia, voltaje y energía, conceptos de velocidad, conceptos de óptica, etcétera. El

banco fue montado en una base acrílica, de tal forma que se tiene el acceso a los diferentes proyectos de una forma fácil y vistosa. Se emplean algunos circuitos electrónicos que finalmente el alumno aprende a utilizar para con ellos manejar las señales detectadas por algunos sensores, además de utilizarlos para el procesamiento de las mismas y así lograr un fin determinado.

ÍNDICE

Nomenclatura

Introducción	5
1. Seguidor de luz	7
1.1 Mecanismo del seguidor	8
1.2 Electrónica de control del seguidor de luz	10
1.3 Sensor de luz	12
1.4 Alambrado de pruebas	14
2. Estetoscopio electrónico	15
2.1 Sensor acústico	16
2.2 Electrónica involucrada en el estetoscopio	19
3. Electrocardiógrafo (ECG)	20
3.1 Gráfica de la señal ECG	22
4. Medidor de la frecuencia cardiaca	23
4.1 Sensor óptico	25
5. Pruebas y resultados	28
Conclusiones	31
Agradecimientos	31
Referencias y bibliografía	32
Apéndice A	33
Apéndice B	39
Apéndice C	43
Apéndice D	81

Nomenclatura

Símbolo	Significado
<i>OPAM</i>	<i>Amplificador operacional</i>
<i>B</i> Θ	Ángulos
<i>I</i>	Corriente
<i>ECG</i>	<i>Electrocardiógrafo</i>
<i>DIP</i>	<i>Empaquetado en doble línea</i>
<i>FC</i>	<i>Fotorresistencia</i>
<i>X, Y</i>	<i>Grados de libertad</i>
<i>g/m</i>	<i>Gramos sobre centímetro</i>
<i>BPM</i>	<i>Latidos por minuto</i>
<i>SDA</i>	<i>Línea de datos serial</i>
<i>LCD</i>	<i>Pantalla de cristal líquido</i>
<i>PCB</i>	<i>Placa de circuito Impreso</i>
<i>PD</i>	<i>Potencia disipada</i>
<i>SCK</i>	<i>Reloj serial</i>
<i>RPM</i>	<i>Revoluciones por minuto</i>
<i>S/C</i>	<i>Sin carga</i>
<i>TEM</i>	<i>Temperatura</i>
<i>Puente H</i>	<i>Topología de conexión de transistores</i>
<i>TFT</i>	<i>Transistor de película delgada</i>
<i>Ref</i>	<i>Voltaje de referencia</i>
<i>V</i>	<i>Volts</i>

Introducción

En la actualidad, los alumnos del bachillerato, se ven en la necesidad de ver aplicados de alguna forma sus conocimientos adquiridos en sus diversas materias, para reafirmar de alguna manera, lo aprendido en sus cursos teóricos. Lo anterior, debido a que, algunos de ellos cursan adicionalmente algunas de las opciones técnicas impartidas en el mismo bachillerato, en las cuales, ponen en práctica algunos conocimientos teóricos, y aprenden nuevos conocimientos sobre algún tema en específico. Es una realidad que, en cualquiera de los temas que se aborden, la electrónica siempre está presente, ya sea para la detección de alguna variable física, para el procesamiento de estas señales o para la presentación de resultados tangibles. En áreas tales como la salud, la computación o la robótica, se requieren conocimiento básico de circuitos electrónicos para llevar a cabo proyectos de interés a este nivel, ver figura 1. Es por lo anterior que, conocer un poco sobre temas de electrónica, facilita el desarrollo de proyectos prácticos y más atractivos para los alumnos, en los que se ponen en práctica muchos de los conceptos abordados en materias teóricas tales como física, óptica, matemáticas, ciencias de la salud y energía, entre otras.



Figura 1. La electrónica está inmersa en casi todas las áreas del conocimiento (elaborado a partir de <https://www.istockphoto.com/>)

En la actualidad, para poder captar la atención de los alumnos, es necesario proporcionarles herramientas que puedan aplicar en conjunto con sus conocimientos teóricos adquiridos en sus cursos, es por ello que, al proponerles proyectos que les llamen su atención, se logra que su entusiasmo por la ciencia se vea incrementado. Se podrían armar proyectos puramente mecánicos, solo que el alcance de estos, no es tan amplio como lo es con aquellos que involucran ambos campos, mecánica y electrónica. Con estas dos componentes, se torna a estos desarrollos más atractivos para el estudiante. En la figura 2A, se muestra un experimento puramente mecánico, el cual requiere la manipulación directa para que funcione. En la misma figura 2B, se muestra otro arreglo, que en este caso es de tipo electromecánico, el cual es controlado mediante circuitos electrónicos y por lo mismo, puede tener un movimiento autónomo, a tal grado que pudiera pensarse que tiene un cierto grado de inteligencia.

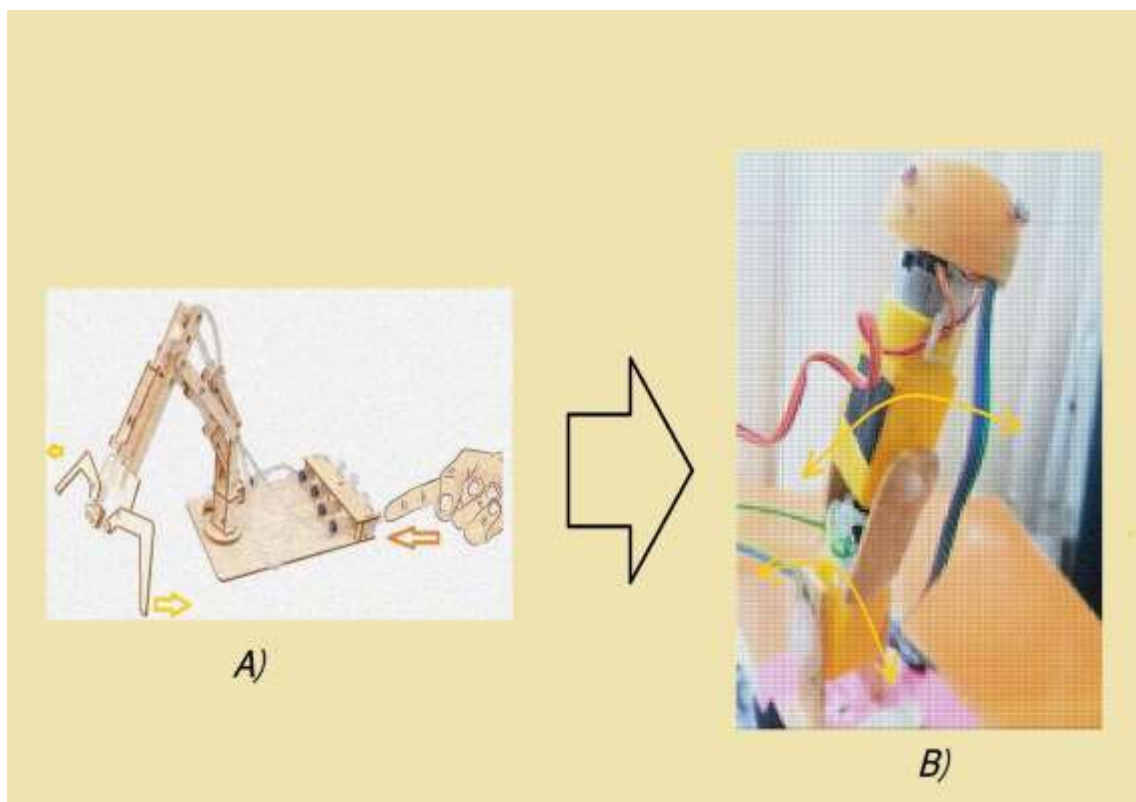


Figura 2. A) Sistema puramente mecánico (brazo robótico a partir de <https://www.mercadolibre.com.>). B) Sistema electromecánico (elaboración propia).

1. Seguidor de luz

La finalidad de este proyecto, es que el alumno ensamble un mecanismo electromecánico para direccionar un arreglo de fotoceldas, las cuales están montadas en un soporte. El cuerpo del soporte está integrado básicamente por dos motorreductores, los cuales al moverse direccionan las fotoceldas (sensores de luz), hacia una fuente de luz en movimiento. Para poder tener libertad de movimiento, es recomendable armar una montura de tipo ecuatorial, como las utilizadas en los telescopios, de esta manera, se podrá tener un barrido en un eje (X) y otro en un eje perpendicular (Y). En la figura 3 se muestran las direcciones de movimiento que se deben tener para poder orientar las fotoceldas.

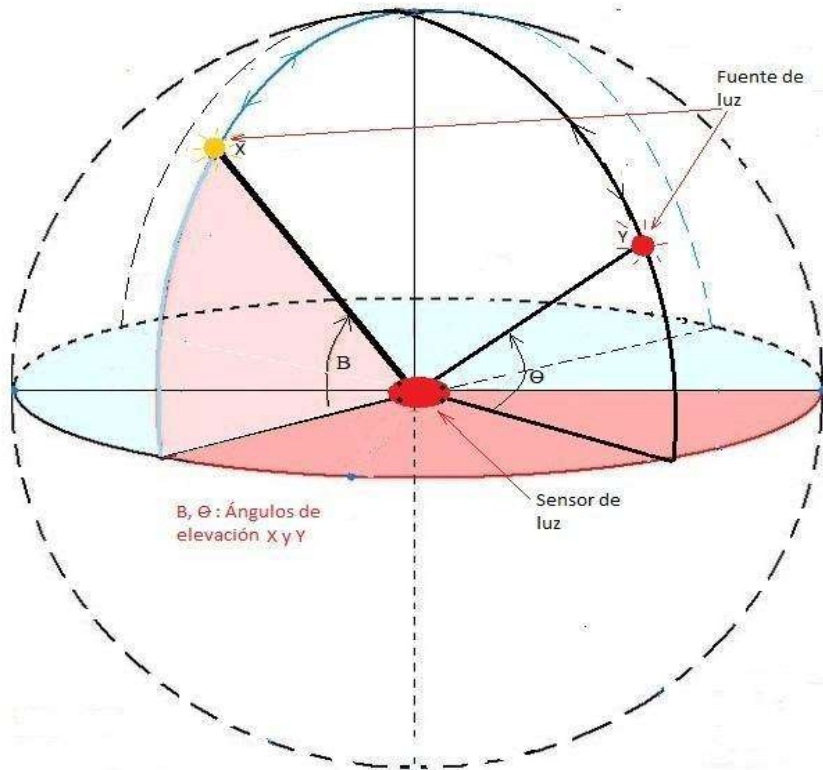


Figura 3. El mecanismo, tiene dos grados de libertad X y Y (elaboración propia).

1.1 Mecanismo del seguidor

El mecanismo propuesto, está construido con dos motorreductores de 6 volts de voltaje nominal, como el mostrado en la figura 4. La estructura se puede ensamblar mediante el empleo de soportes que se tengan a la mano, tales como pedazos de cartón rígido o trozos de palos de paleta. Estos deben ser cortados a la medida y perforados para poder soportar los motores, como se muestra en la figura mencionada. En la misma figura 4, se proponen dos tipos diferentes de montaje, los cuales se dejan a elección del alumno.

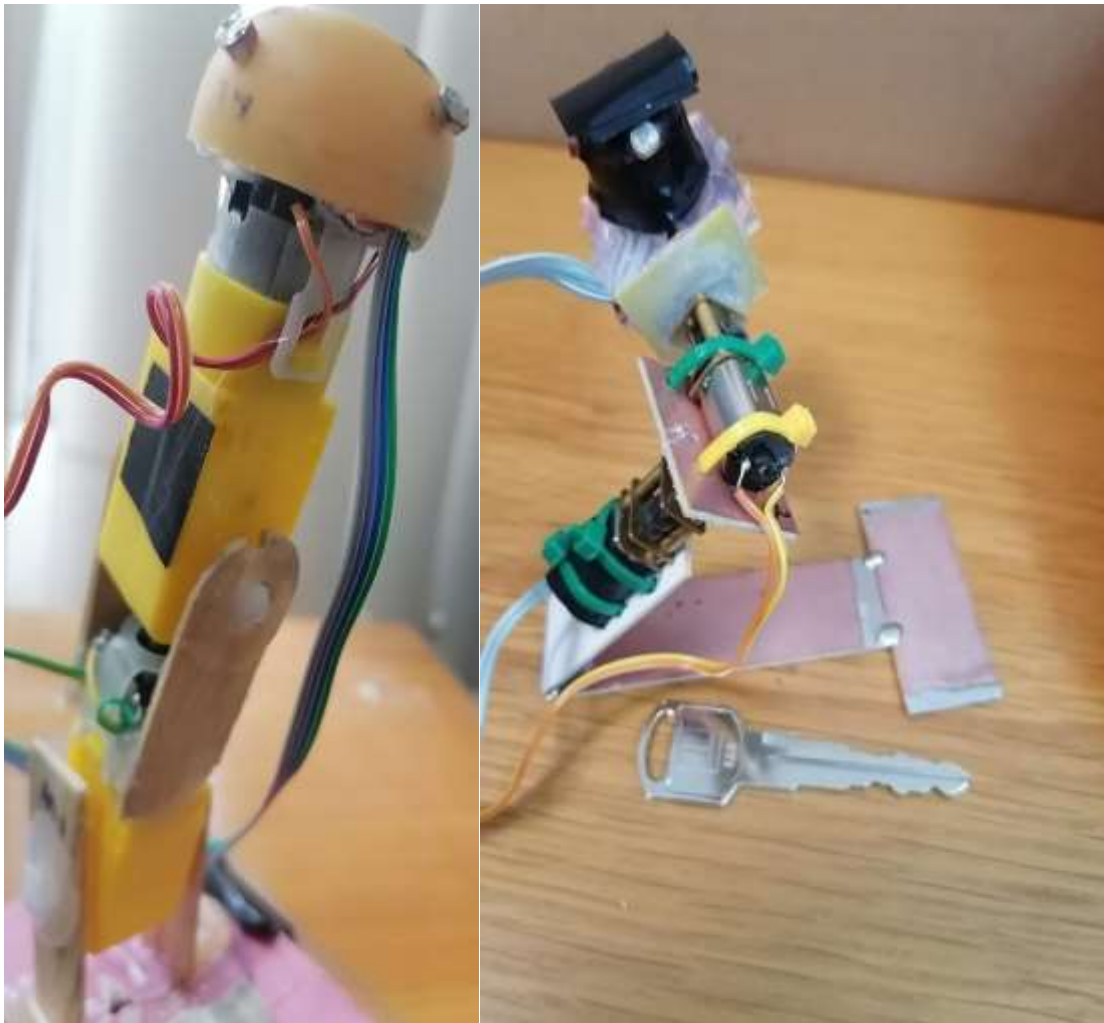


Figura 4.- Monturas de dos ejes de libertad (elaboración propia).

Para poder soportar el peso de los motores, es necesario colocar el arreglo sobre una base rígida y con el área suficiente, para que se logre la adecuada sustentación del

mecanismo al moverse el sistema de un lado a otro. Al alumno se le dan diferentes alternativas para que tome la decisión que mejor le parezca y sin limitar su inventiva. En la figura 5, se muestran dos tipos de motorreductores, con los cuales se puede construir el sistema mecánico. En la figura 5 A), se muestra un tipo de motor plástico, que opera con 6 volts de corriente directa (CD) y en la figura 5 B), un tipo de motor metálico, que opera con un voltaje de 5 volts, también de corriente directa. Ambos se pueden utilizar con los mismos resultados.

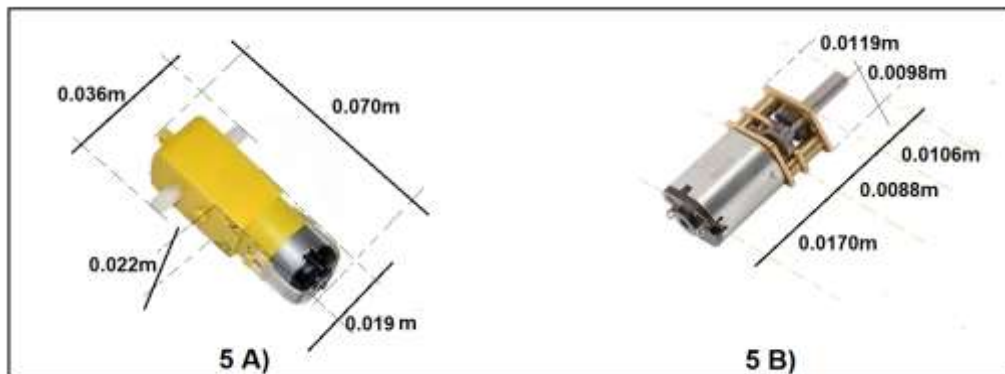


Figura 5. A) Motorreductor plástico, B) Motorreductor metálico (elaborado a partir de <https://electrocrea.com/>).

Las características eléctricas de estos motores se muestran en la tabla 1.

Tabla 1. Características eléctricas de los motorreductores (elaboración propia).

Relación	Voltaje (V)	Velocidad S/C (RPM)	Corriente (mA)	Torque
Motorreductor Metálico				
1/1000	5	10	40	600 (g/cm)
Motorreductor Plástico, doble eje				
1/50	3 a 9	190	100 a 150	800(g/cm)

1.2 Electrónica de control del seguidor de luz

La electrónica de control, basa su funcionamiento en el uso de amplificadores operacionales, tipo LM324, trabajando en parejas y en configuración de comparadores de voltaje (Franco, 2005). Uno de ellos, como comparador inversor y el otro como comparador no inversor. La operación conjunta trabaja como un comparador de ventana, lo cual es necesario, dado que se tiene que controlar el movimiento en dos direcciones, adelante y atrás. Por otra parte, el circuito mencionado, se arma por duplicado, ya que se tienen movimientos en dos ejes, Y y X. En la figura 6, se muestra el circuito completo para ambos canales.

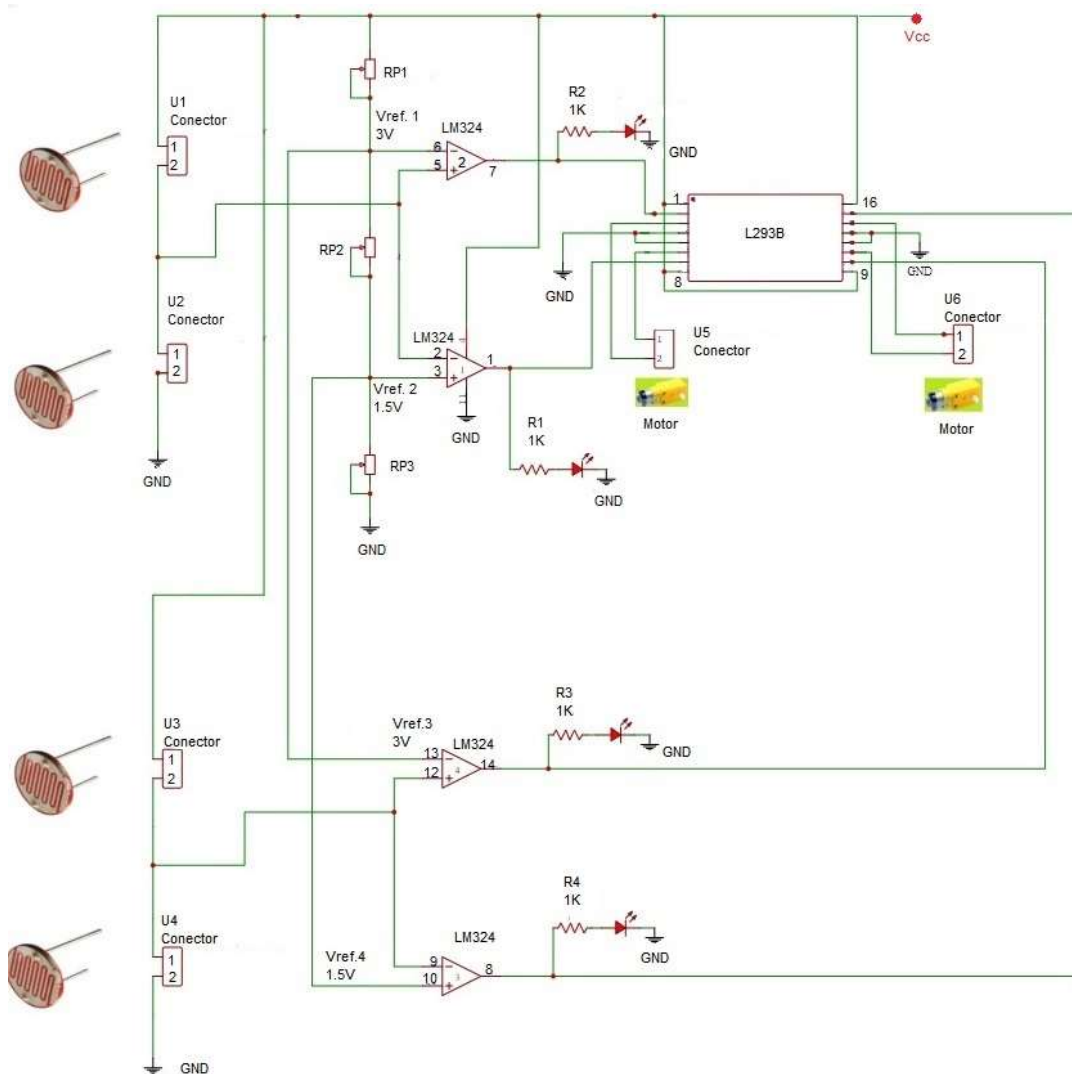


Figura 6. Diagrama eléctrico del seguidor de luz, ver hojas de datos (elaboración propia).

Como se puede ver en el diagrama, la señal enviada por cada par de fotorresistencias y que es generada en función de la luz que incide sobre ellas, es enviada a los comparadores de voltaje. Estos dispositivos son los encargados de procesar la señal enviada, comparándola contra dos voltajes de referencia fijos, previamente ajustados mediante el uso de tres potenciómetros. A la salida de cada par de comparadores, se tiene una señal que puede ser un nivel alto o un nivel bajo, con lo cual se controla un puente H (L293), encargado de suministrar la potencia eléctrica a los motores, además de controlar la dirección de giro (adelante-atrás). En la figura 7, se muestran las señales que muestran el comportamiento de la salida de los amplificadores para el canal X, se debe considerar que para el canal Y el comportamiento es similar.

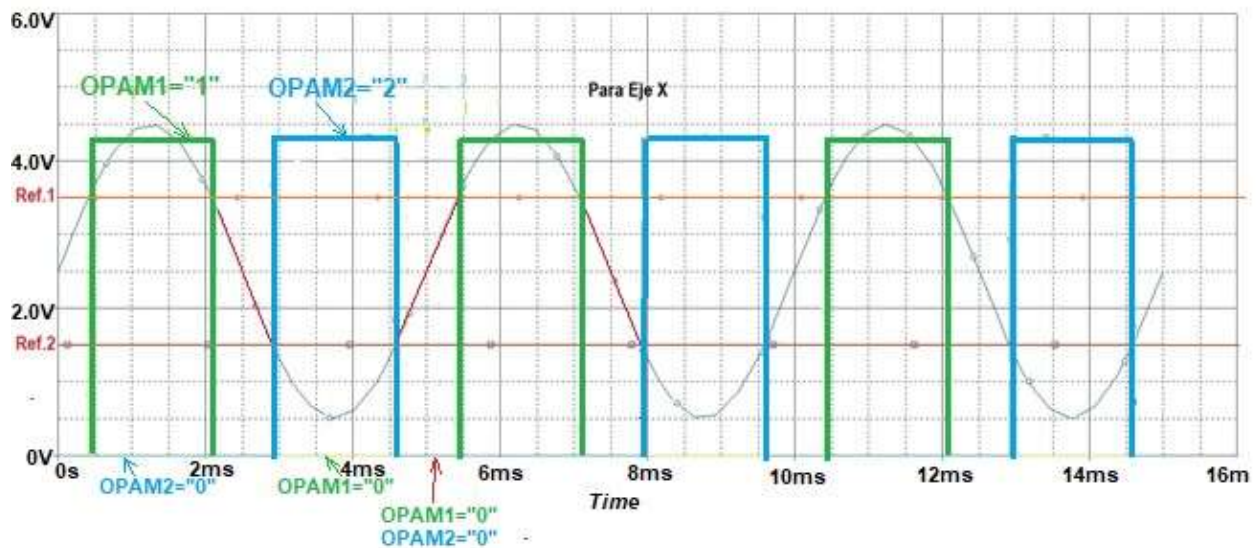


Figura 7. Comportamiento de la salida de los amplificadores en función de la señal de entrada para el canal X (elaboración propia).

Cuando el valor de la señal mostrada en la figura 7 como una senoide en color azul, se encuentra entre los valores Ref1 y Ref2, la salida de los amplificadores operacionales, marcadas en color verde y azul, presentan un valor bajo "0". Fuera de este intervalo, cuando la señal es más grande que Ref1, se presenta una señal alta para la salida del amplificador mostrado en verde y baja para el amplificador mostrado en azul. Por último,

cuando la señal enviada por las fotoceldas es menor al voltaje de referencia, marcada como Ref 2, las señales de salida de los amplificadores son contrarias al caso anterior, esto es, salida baja “0” para el amplificador mostrado en color verde y alta “1” para el mostrado en azul. Este comportamiento, es tabulado y mostrado en la tabla 2.

Tabla 2. Niveles de voltaje a la salida de los amplificadores (elaboración propia).

Intervalo de nivel de señal enviada por fotorresistencias (V)	Nivel de voltaje a la salida de amplificador 1 (V)	Nivel de voltaje a la salida de amplificador 2 (V)
0 - Vref	5	0
Vref1 - Vref2	0	0
Vref2 - 5	0	5

Como ya se mencionó, las señales presentes a las salidas de los amplificadores operacionales, son enviadas al circuito encargado de suministrar la potencia necesaria a los motorreductores. El circuito integrado de potencia, corresponde a un puente H, el cual, se encarga de suministrar la corriente necesaria a los motores, los cuales se encargan de realizar el movimiento del mecanismo en los dos ejes X y Y del sistema.

1.3 Sensor de luz

El sensor de luz empleado para que el sistema responda, como ya se mencionó, está integrado por dos arreglos ópticos, que trabajan en forma separada, pero que están integrados en una misma estructura. Este arreglo corresponde a dos divisores de voltaje formados cada uno por dos fotorresistencias alineadas, de tal manera que se logra una detección de la posición de una fuente de luz, a lo largo de dos planos X y Y. En la figura 8, se muestra el arreglo eléctrico empleado para generar las señales que se inyectan a los comparadores de voltaje empleados.

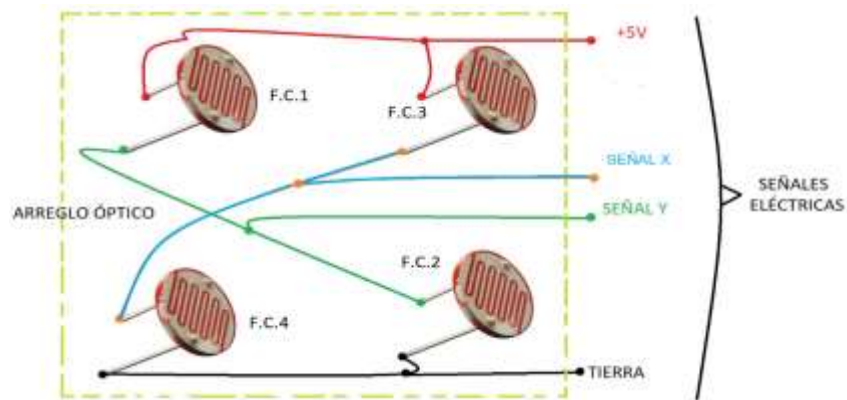


Figura 8. Arreglo eléctrico de fotorresistencias (elaboración propia).

El arreglo óptico, por su parte, es importante dado que de esta forma se puede discriminar de una manera más adecuada el desplazamiento de la fuente de luz, ya sea que se realice en un eje o en el eje ortogonal. Este arreglo óptico, se sugiere, montar sobre alguna tapa rosca o sobre alguna esfera de unicel. Para darle la curvatura adecuada al arreglo, y poder generar sombras entre las fotorresistencias, es necesario aprovechar la curvatura del soporte, de tal forma que, se tenga una mayor diferencia de intensidad de luz entre una fotorresistencia y la otra (Cooper, 1991). En la figura 9, se muestra el arreglo óptico empleado en este proyecto.

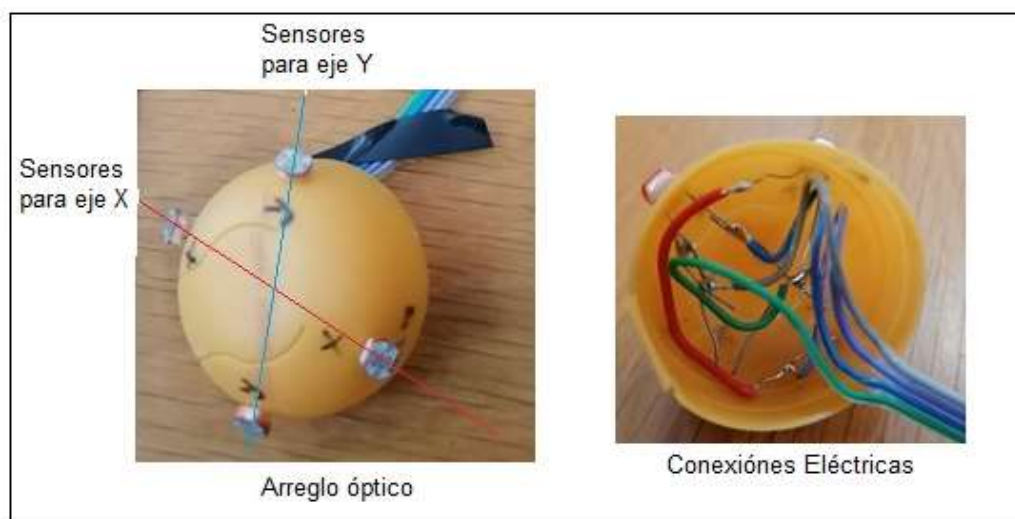


Figura 9. Arreglo óptico del sensor de luz (elaboración propia).

1.4 Alambrado de pruebas

En la figura 10, se muestra el alambrado sobre una tablilla de experimentación, de la electrónica involucrada en este proyecto.

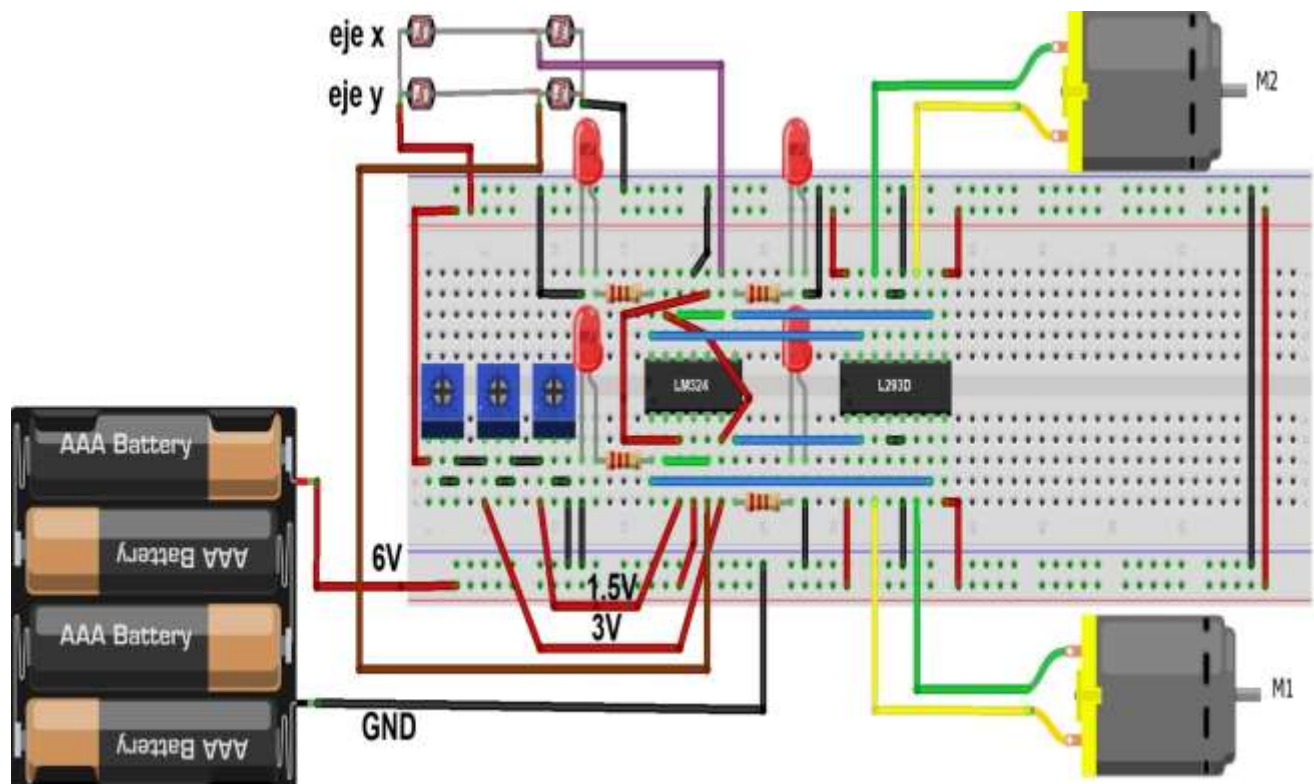


Figura 10. Alambrado en tablilla de proyectos del seguidor de luz (elaboración propia).

2. Estetoscopio electrónico

Esta parte del banco de proyectos, consiste en armar un pequeño estetoscopio electrónico, a base de un micrófono electreto y 2 amplificadores operacionales. En su etapa de salida, se utiliza un preamplificador de audio. Posteriormente a estos elementos, la señal es amplificada mediante un amplificador de poder, el cual es externo, y es de propósito general, este amplificador, debe tener una entrada de línea para poder ser conectado al estetoscopio, mediante un cable de audio. En su defecto, también se pueden conectar unos audífonos de alta impedancia, en lugar del amplificador de poder.

En la figura 11, se muestra una vista general del estetoscopio que el alumno puede lograr, en caso de que el alumno así lo decida al seleccionar su proyecto.

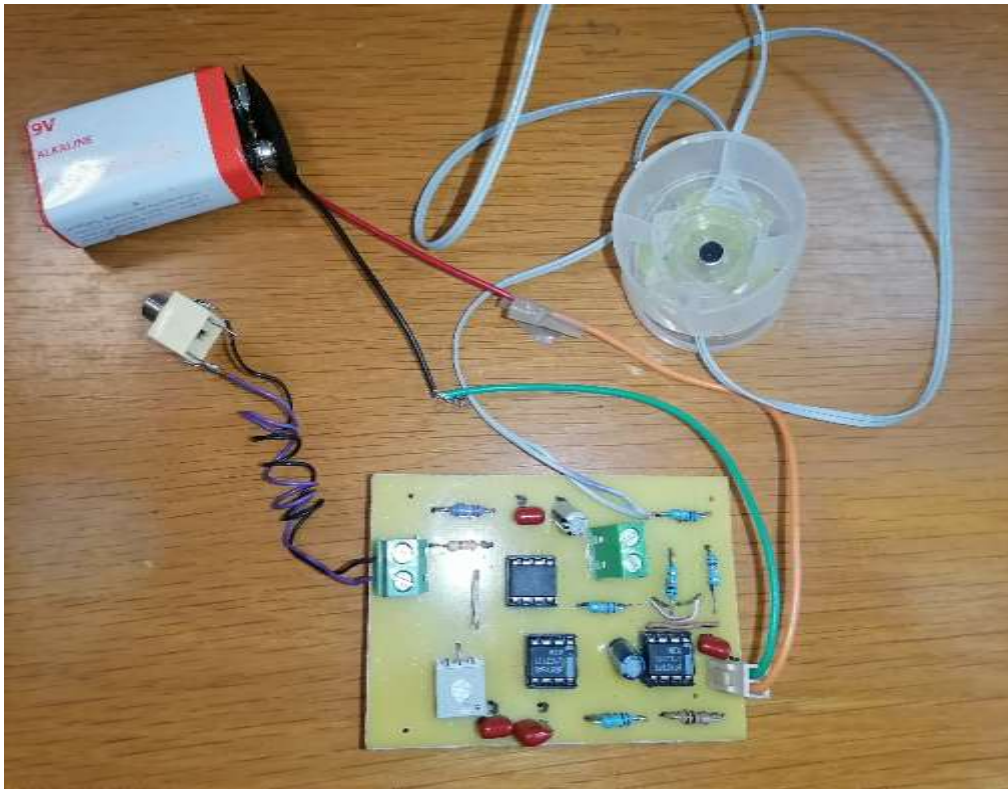


Figura 11. Estetoscopio electrónico (elaboración propia).

Se sabe que el sonido es un fenómeno físico, que se genera por medio de un elemento que produce una vibración mecánica en un medio elástico (SCEA, 2025). Esta vibración, se transmite a lo largo del medio, en forma de una onda, a su vez, las partículas del medio por el que se transmite el sonido, son sometidas a altas y bajas presiones, de tal forma que, estos cambios son transmitidos a las partículas vecinas en forma de onda, tal como se muestra en la figura 12. Finalmente, estas ondas pueden ser captadas por el oído y ser procesadas por el cerebro.

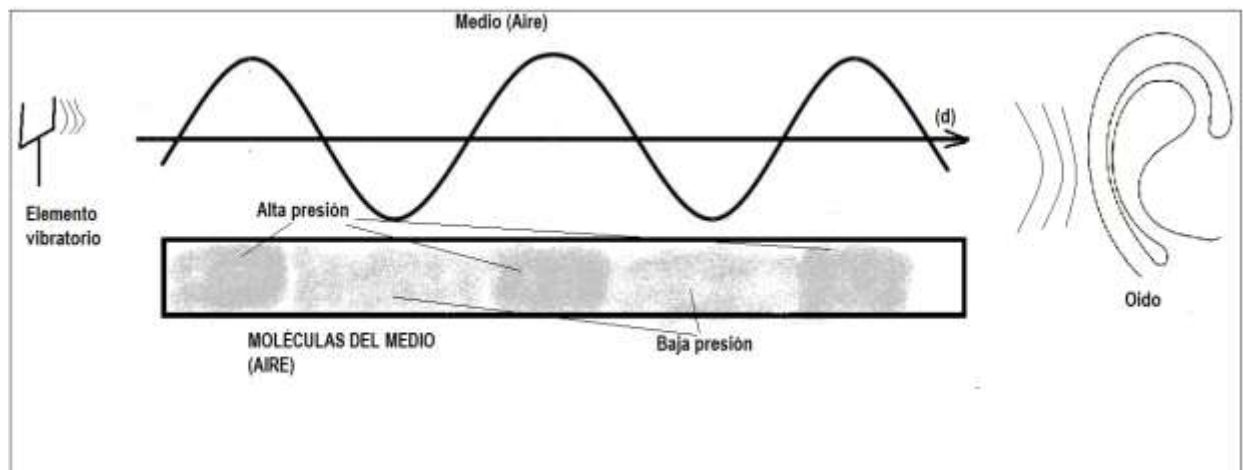


Figura 12. El sonido como una onda mecánica (elaboración propia).

2.1 Sensor acústico

El oído electrónico (sensor), con el que se cuenta para este proyecto, y que en este caso será el oído electrónico, es un elemento conocido como micrófono electreto. Este elemento, contiene una membrana que, al moverse debido a las ondas acústicas, que inciden sobre él, inducen un potencial eléctrico, el cual será amplificado para poder ser escuchado por nuestros oídos. En la figura 13, se muestra la forma de conectar un micrófono de este tipo, para poder obtener una señal utilizable para el circuito propuesto.

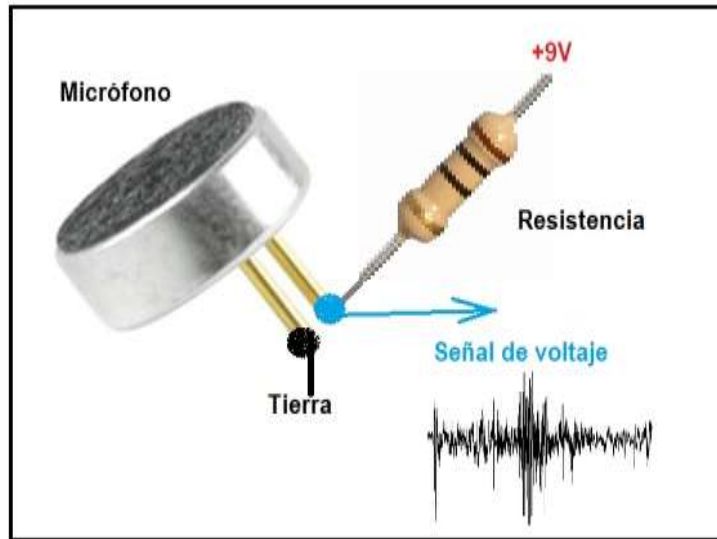


Figura 13. Micrófono electret (elaboración propia).

Para construir la oreja completa, en base al micrófono mencionado, es necesario construir la caja de resonancia, a manera de oreja, para ello, se propone al alumno utilizar una tapadera de alguna botella de plástico, de tal forma que, por un lado, se coloca el micrófono, como se muestra en la figura 14. Por otro lado, se coloca una membrana flexible, para captar la mayor cantidad de ondas sonoras. Esta membrana, podría ser un trozo de un pequeño globo de plástico, o un pedazo de polietileno bien estirado.



Figura 14. Sensor acústico, visto por ambos lados y sin membrana (elaboración propia).

En la figura 14, se puede ver que el micrófono electret, es colocado en una campana acústica, construida de acuerdo a las posibilidades y al criterio de cada alumno. En la figura, se muestra un ejemplo de construcción de una campana, mediante el uso de una tapa de un recipiente de alcohol. En la tapa mencionada, se realizó una perforación en la cara posterior y al centro de ella, para colocar en esta perforación el micrófono. Se debe asegurar la posición de este elemento, mediante el uso de algún pegamento, para evitar que se mueva o se salga de su lugar. Antes de esta acción, se deben soldar dos cables al micrófono que corresponden al positivo y al negativo de alimentación de voltaje (+) y (-) y finalmente sellarlo para evitar que se dañen las conexiones.

La membrana también se deja a libre decisión de cada alumno, en la figura 15, se muestra una forma de agregar este componente a la campana del estetoscopio. La función principal de este elemento, es la de servir como una interfaz entre la piel del paciente y el micrófono que se encapsula en la campana, esta interfaz, aumenta la superficie de contacto de la piel con el sistema en construcción. Al lograr esto, los ruidos generados por el cuerpo, son captados de una mejor manera. Por otro lado, la campana y la membrana, encierran un volumen de aire, el cual al ser relativamente constante, transmite el sonido a través de él, de una mejor manera, ya que como se mencionó anteriormente, este sonido, es una onda de presión que se transmite de un punto a otro. Adicionalmente, este encapsulado, aísla el ruido del ambiente en el que se encuentra el micrófono.

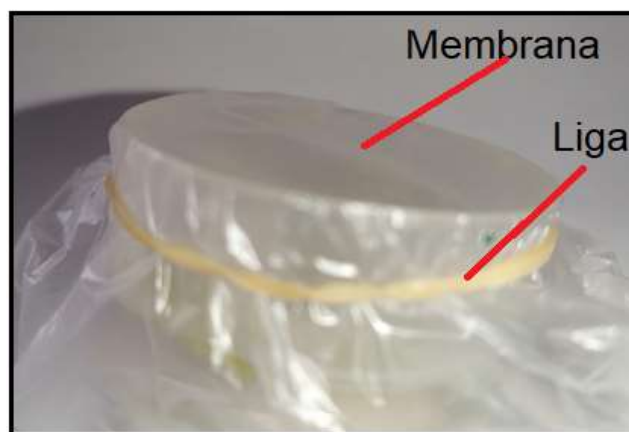


Figura 15. Campana con membrana incluida (elaboración propia).

2.2 Electrónica involucrada en el estetoscopio

Para poder amplificar la señal generada por el micrófono electret, es necesario seguir varias etapas, en primer lugar, preamplificar la señal mediante el uso de un amplificador operacional, utilizando la configuración mostrada en la figura 16. La segunda etapa, consiste en controlar la amplitud de la señal, mediante el ajuste de la ganancia de un segundo amplificador operacional. Adicionalmente, en esta etapa, la señal también es filtrada, para que, por último, la señal del preamplificador, sea inyectada en un pequeño amplificador de audio, al cual se le puede conectar un micrófono de alta impedancia, con la finalidad de escuchar el sonido del corazón. En su defecto, para sustituir a los audífonos, se puede conectar un amplificador externo, mediante un cable adecuado, y de esta forma, poder escuchar de igual forma los sonidos del corazón, a través de sus bocinas.



Figura 16. Circuito utilizado para el estetoscopio (elaboración propia).

El circuito propuesto, para que los alumnos construyan, es el mostrado en la figura 17. Y solo es necesario una tableta de prototipos y cables para su ensamble, además de los componentes electrónicos, mostrados en el diagrama de la figura 16. En el apéndice B, se muestran la lista de partes de este proyecto, además de los otros propuestos en este trabajo.

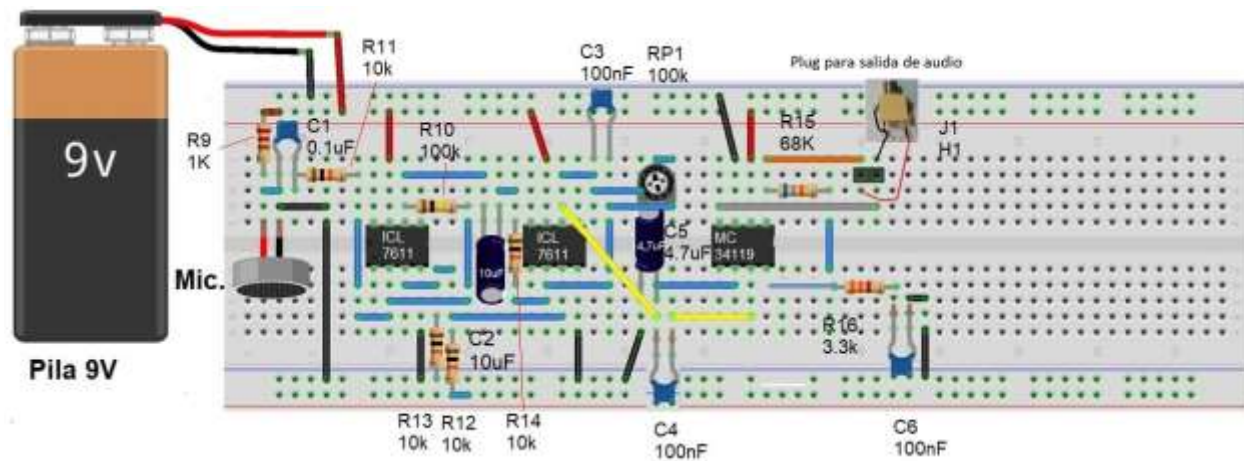


Figura 17. Alambrado de estetoscopio en tableta de prototipos (elaboración propia).

3. Electrocardiógrafo (ECG)

Otro proyecto propuesto a los alumnos, consiste en armar un ECG. Para ello, se les propone utilizar un amplificador operacional de instrumentación comercial, de tipo AD8232. Este circuito se muestra en la figura 18.

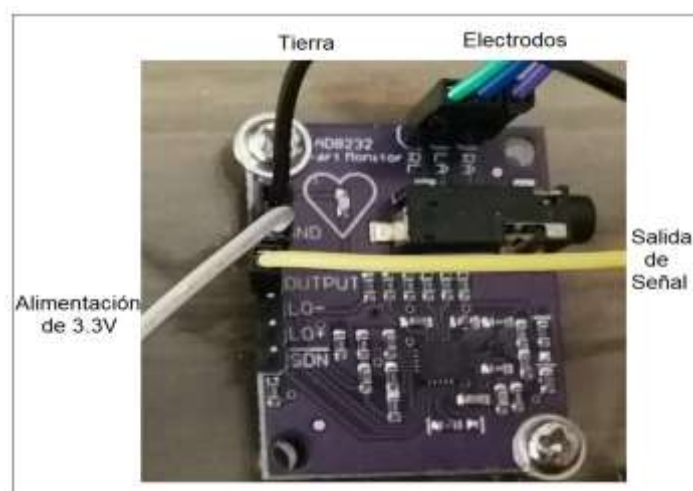


Figura 18. Amplificador de instrumentación AD8232 (elaboración propia).

Para poder armar este proyecto, se pide a los alumnos que comiencen por armar tres electrodos, de tal forma que se tengan las conexiones necesarias entre el cuerpo de una persona y el ECG construido. En la figura 19, se muestran la forma de ensamblar los cables-electrodos. Para ello, se puede observar que se cuenta con tres placas metálicas conductivas, de dimensiones pequeñas, estas pueden oscilar entre los 4 centímetros de diámetro. A estas placas, es necesario soldar un cable de aproximadamente un metro, a cada una de las placas, para poder conectarlas al circuito. El calibre del cable puede ser del número 22, para que no sea muy rígido y se pueda manipular con facilidad.

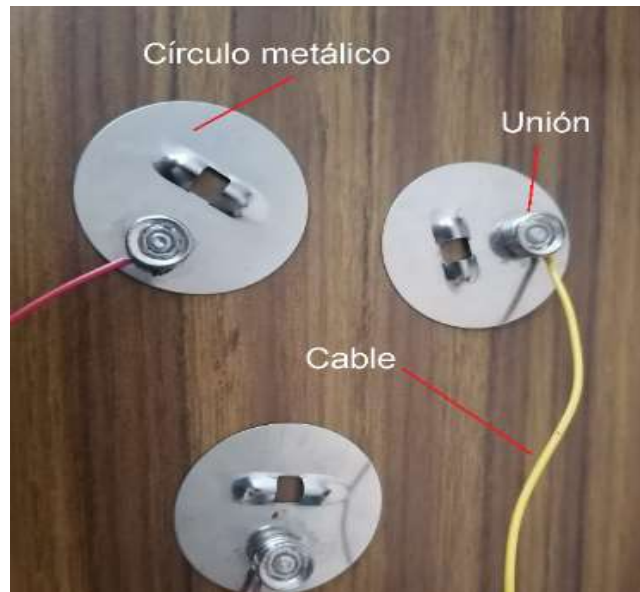


Figura 19. Electrodos contruidos con círculos metálicos (elaboración propia).

Los electrodos se conectan a la tarjeta del amplificador AD8232, como se muestra en la figura 18. Adicionalmente, a esta tarjeta se le conecta una alimentación de 3.3 volts y tierra. Este voltaje, se puede tomar del osciloscopio portátil DSO138, tal como se muestra en la figura 20. Otra conexión de este elemento, es la salida de señal (ECG), que se toma de la misma tarjeta del AD8232, y se conecta al osciloscopio, para poder observar la forma de onda del corazón.

3.1 Gráfica de la señal ECG

Para poder visualizar la señal electrocardiográfica, se emplea una pantalla de un osciloscopio portátil, tipo DSO138/2.4", de tecnología TFT (Transistor de película delgada). En la figura 20, se muestra esta pantalla de visualización. Se puede apreciar en la figura, que el osciloscopio se polariza con un voltaje de 9 volts. Este osciloscopio, cuenta con una terminal de salida de 3.3 volts, la cual, se utiliza para alimentar la tarjeta del AD8232. Es así que, se puede lograr alimentar todo el sistema con una única batería de 9 Volts. De esta manera, se puede tener el sistema aislado de la línea convencional de 127 VCA (Webster, 1988), y lograr un sistema seguro, para observar la señal del corazón.

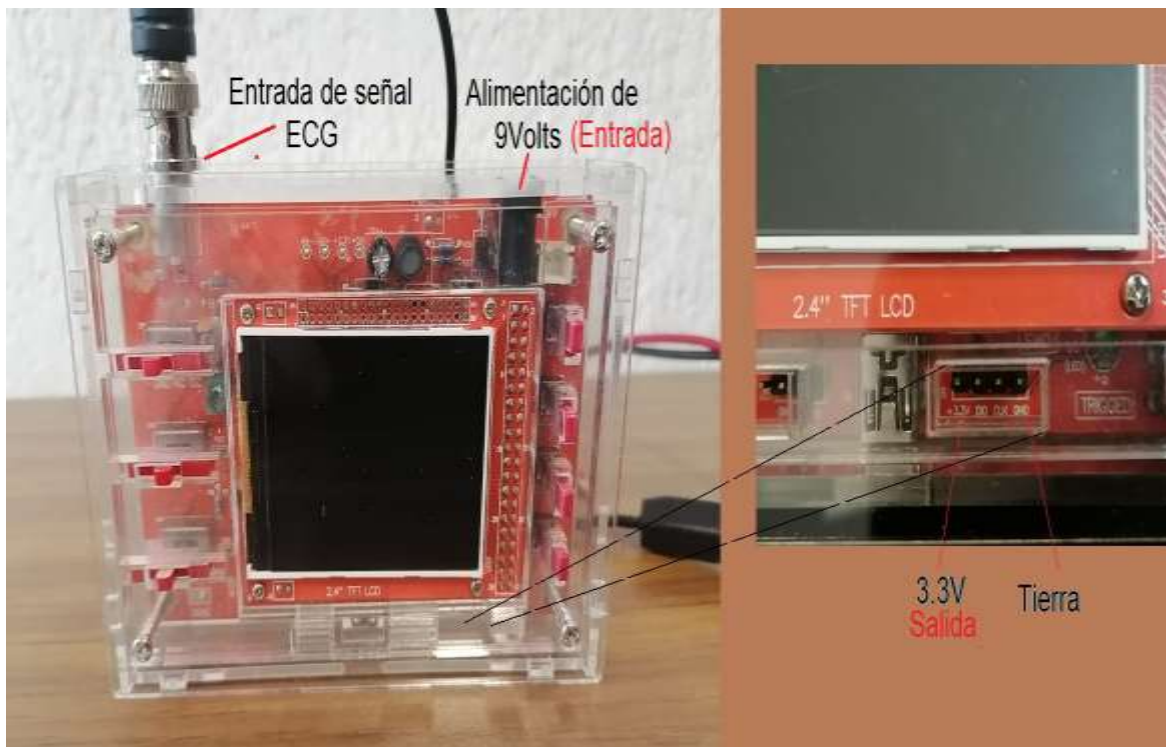


Figura 20. Pantalla del osciloscopio DSO138 (elaboración propia).

En la figura 21, se muestra un diagrama a bloques de las conexiones que tienen que realizar los alumnos para poder monitorear la señal cardiaca.

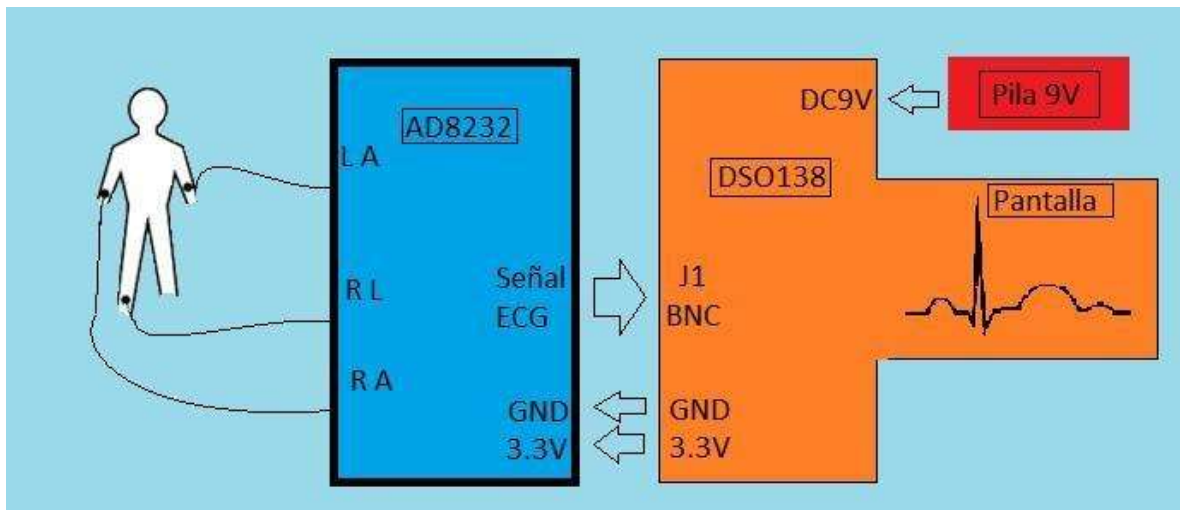


Figura 21. Diagrama a bloques del ECG (elaboración propia).

4. Medidor de frecuencia cardiaca

La medición de frecuencia cardiaca, se puede realizar mediante el cálculo de la frecuencia, a través de la onda pletismográfica. Esta señal, se puede captar mediante métodos ópticos, monitoreando el cambio en el volumen del flujo sanguíneo, presente en el dedo o en el lóbulo de la oreja de una persona, principalmente. Cabe señalar que, a esta técnica, se le conoce como pletismografía óptica. Existen otras técnicas, tales como la pletismografía de impedancia eléctrica y la pletismografía pulmonar, pero estas se utilizan para otros fines.

Dado que el cambio de volumen de sangre en alguno de los dedos de la mano de una persona, está en función del bombeo de sangre del corazón, entonces, de esta manera, se puede captar la onda pletismográfica. Dado que esta onda es periódica, entonces, se puede medir la frecuencia de ella, y así obtener la frecuencia cardiaca de la persona en estudio. En la figura 22, se puede ver la forma de onda típica de una onda de este tipo, tomada en el dedo índice de la mano derecha. Cabe señalar que este proyecto no pretende medir la saturación de oxígeno en sangre, dado que, para ello, se tendrían que

medir las proporciones de hemoglobina oxigenada y la hemoglobina desoxigenada, mediante dos detectores ópticos. Uno de luz roja (660 nanómetros) la cual es absorbida mayormente por la sangre desoxigenada, y el otro, de luz infrarroja (940 nanómetros) que es mayormente absorbida por la sangre oxigenada. A esto se le conoce como técnicas espectrofotométricas (Salud, 2025). En este proyecto, solo se miden los valores luminosos que transmite el volumen de sangre arterial, y que se modifica en cada pulsación del corazón. Correspondiendo exclusivamente a la onda pletismográfica.



Figura 22. Onda pletismográfica (elaboración propia).

4.1 Sensor óptico

El sensor óptico utilizado es del tipo SEN-11574 del fabricante SparkFun (Sparkfun, 2025). Este sensor se puede polarizar con 5 volts de corriente directa y consume alrededor de 4 mili amperes.

La fuente de luz de este sensor es de color verde, con una longitud de onda de 565 nanómetros, esta luz es emitida sobre el dedo de una persona, para ser reflejada por el tejido biológico, y captada en el rebote, por un sensor óptico de tipo APDS 9008 (Avago, 2025). En la figura 23, se muestra el diagrama que proporciona el fabricante de este sensor, incluye la fuente de luz y el detector, se puede ver en el diagrama que cuenta con una etapa de detección, de filtrado y otra de amplificación.

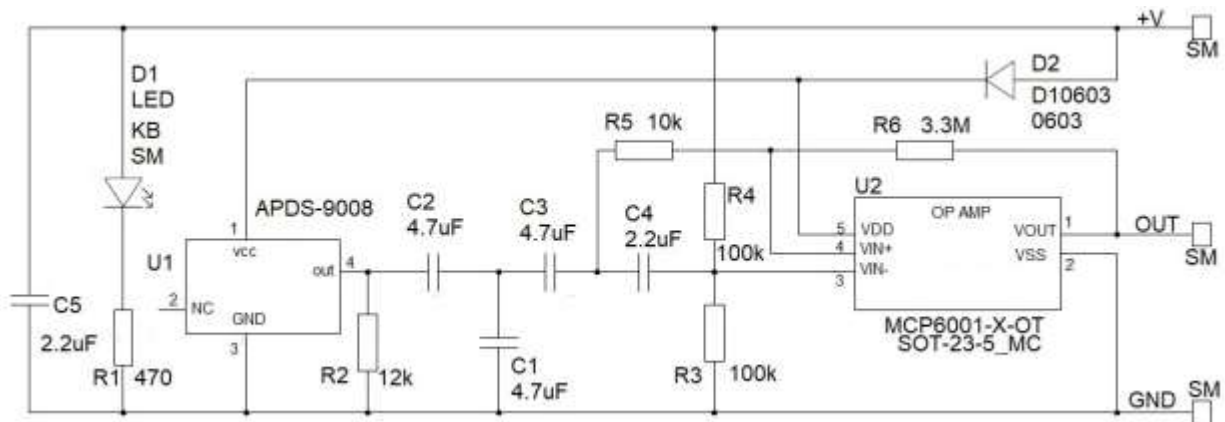


Figura 23. Diagrama del sensor SEN-11574 (elaborado a partir de <https://cdn.sparkfun>).

La salida del sensor de pulsos cardiacos, es una señal analógica, la cual se puede conectar a una tarjeta de desarrollo para ser procesada. Para ver el valor de la frecuencia de la señal captada, se utiliza un despliegue, utilizando un LCD oled gráfico tipo GM009605 de 2.43 centímetros. Sus principales características son: Utiliza el microcontrolador SSD1306, de bajo consumo de energía, de solo 0.04 Watts. El LCD soporta voltajes de alimentación entre 3.3 a 5 volts, su consumo de corriente es de 24 mili amperes, la temperatura recomendada de operación se encuentra entre -30 y 80 grados centígrados. Como ya se mencionó, utiliza un controlador de tipo SSD1306, el

cual presenta comunicación I2C. El LCD, además cuenta con luz propia OLED, sin luz de fondo, tiene una resolución de 128 x 64, con un ángulo de visión de más de 160 grados. Este display es el mostrado en la figura 24.

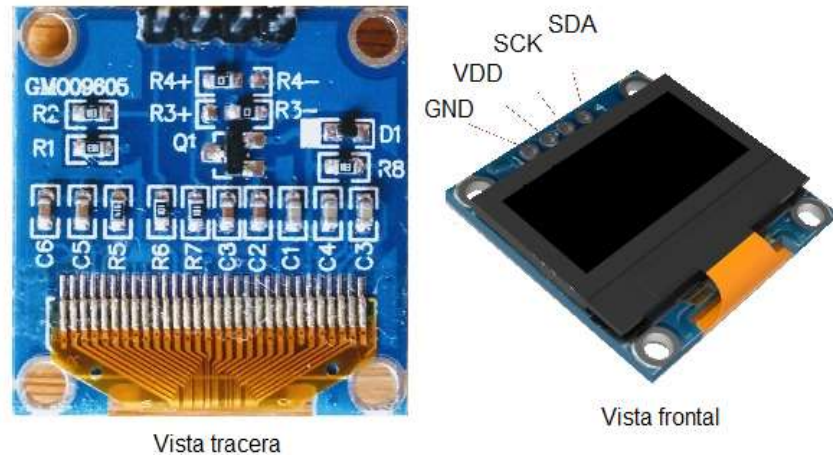


Figura 24. Pantalla OLED GM009605 (elaboración propia).

Un diagrama a bloques para llevar a cabo las conexiones del medidor de frecuencia cardiaca se muestra en la figura 25. Está involucrado el sensor, que envía la señal mediante la salida marcada como “S”. El sensor, es polarizado con la tarjeta de desarrollo mediante un voltaje de 5 volts y su respectiva tierra. La tarjeta de desarrollo se conecta a su vez con el LCD mediante las terminales A4 y A5, a las terminales SDA, y SCK del LCD respectivamente. Adicionalmente, la tarjeta de desarrollo también envía la señal de polarización de 5 volts y tierra para alimentar la pantalla. Para energizar todo el sistema, se requiere de una fuente externa de un valor entre 7 y 9 volts preferentemente, para que opere adecuadamente. Este voltaje, se puede conectar a la entrada de voltaje externo de la tarjeta de desarrollo, mediante el uso de un conector plug invertido, de 2.5 mm de diámetro interno, por 5.5 mm de diámetro externo.

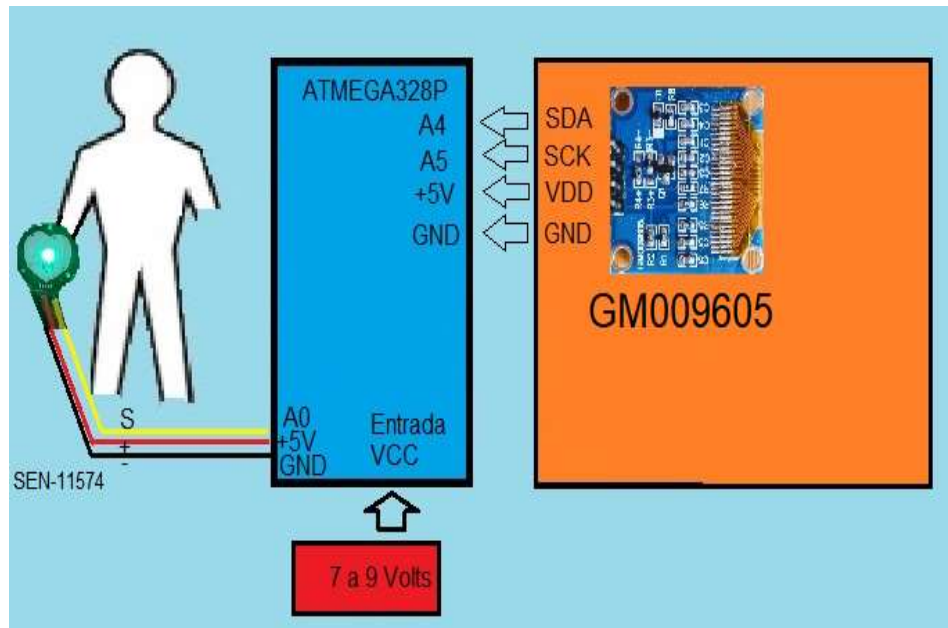


Figura 25. Diagrama a bloques del Medidor de frecuencia cardiaca (elaboración propia).

Para que se pueda observar la frecuencia de la señal pletismográfica en el display, es necesario programar el microcontrolador ATmega328P, de la tarjeta de desarrollo, para ello, se carga un programa a la tarjeta. Un listado del programa utilizado, se presenta en el apéndice D, de tal forma que, el alumno lo pueda cargar en el sistema propuesto, para poder observar la frecuencia cardíaca.

En la figura 26, se muestra la forma de alambrar físicamente el medidor de frecuencia cardíaca.

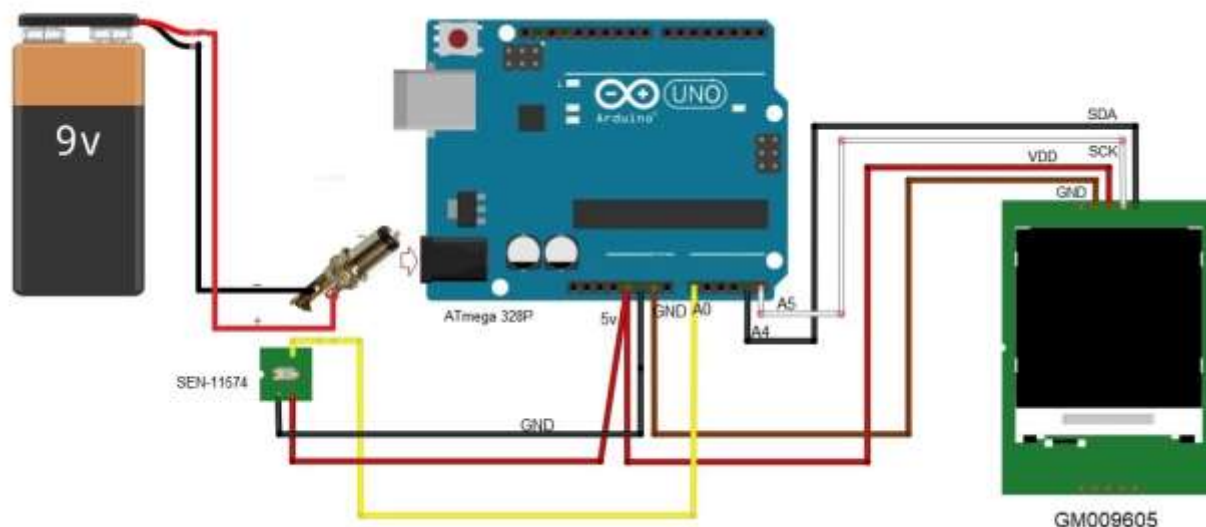


Figura 26. Alambrado del medidor de frecuencia cardíaca (elaboración propia).

5. Pruebas y resultados

Estos proyectos se montaron en conjunto en un pequeño gabinete, para mostrar a los alumnos su forma de operar, para ello, se construyeron los circuitos impresos necesarios para contar con un prototipo funcional y práctico. En el Apéndice B, se muestran los circuitos impresos del banco de proyectos. En la figura 27, se muestra el mecanismo que soporta los motores y el sensor del seguidor de luz. En la figura 28, por su parte, se presenta un ejemplo de una gráfica de un ECG obtenido con el prototipo propuesto. El resultado de este banco, fue mostrado a diferentes grupos de la Escuela Nacional Preparatoria y fue acogido con gran entusiasmo por los alumnos.

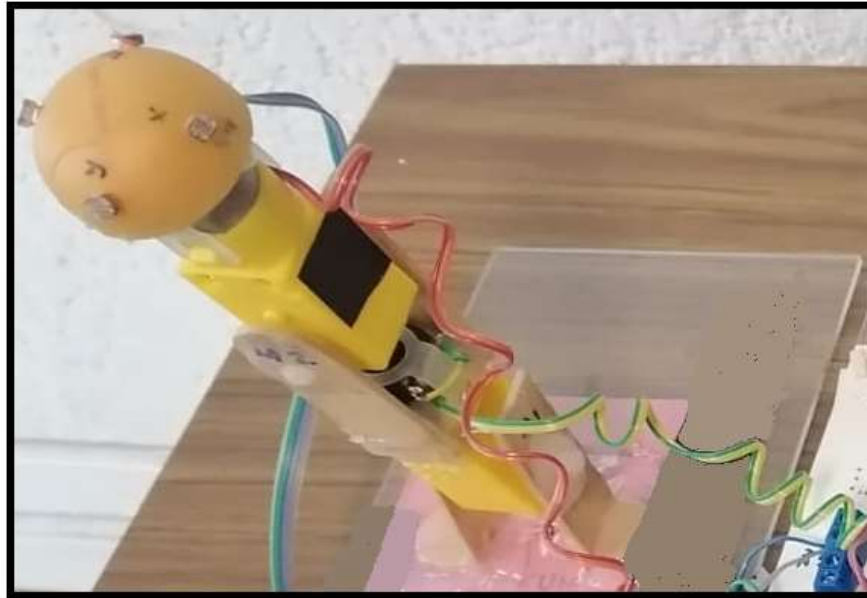


Figura 27. Seguidor de luz propuesto (elaboración propia).

Por otro lado, en la figura 29, se muestra el LCD del medidor de frecuencia cardiaca operando y marcando una frecuencia de 60 latidos por minuto.



Figura 28. ECG típico obtenido con el prototipo (elaboración propia).

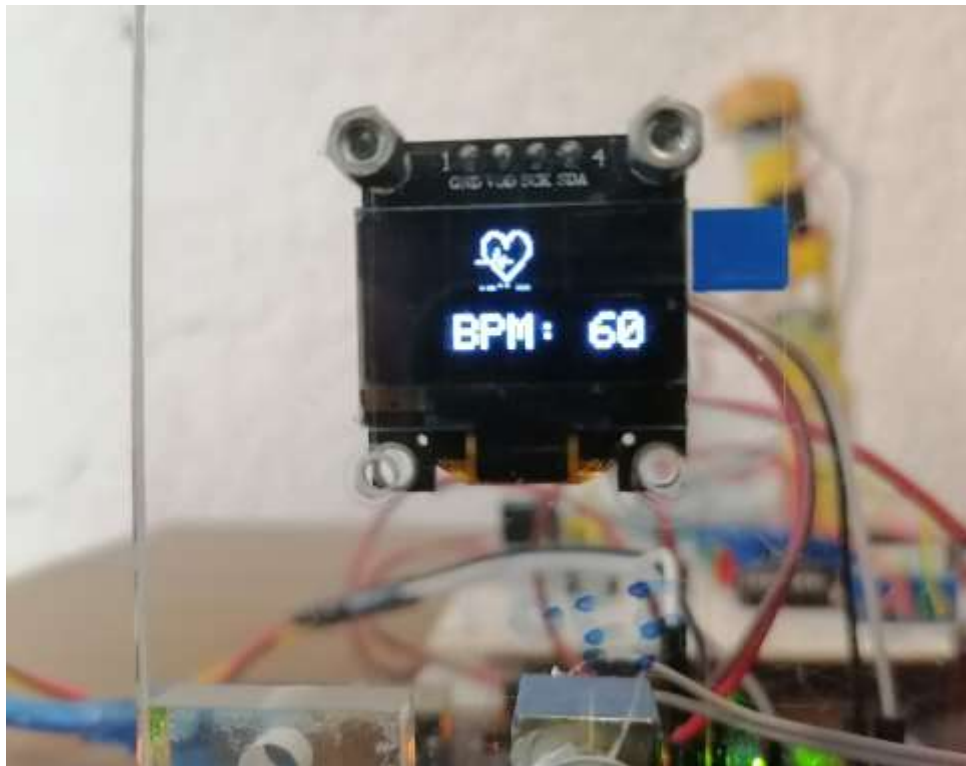


Figura 29. Medidor de frecuencia cardíaca (elaboración propia).

Una imagen completa del prototipo terminado, se presenta en la figura 30. Se puede ver que los circuitos propuestos se integraron en una sola tarjeta PCB, de esta forma, se puede tener un prototipo de muestra para que los profesores lo muestren a los alumnos, de tal forma que puedan observar su funcionamiento con la finalidad de motivarlos, y así, de esta forma, apoyarlos para que ellos mismos ensamblen su propio proyecto. Un listado de partes de cada uno de los desarrollos, es mostrado en el apéndice A, de tal forma que, la información necesaria para la adquisición del material, esté al alcance de los alumnos y del profesor. De acuerdo al proyecto seleccionado, cada alumno tendrá que conseguir el material necesario para armar alguna de las propuestas planteadas. Adicionalmente, y para mayor referencia, también se presenta en el apéndice C, la hoja de datos de los componentes utilizados.

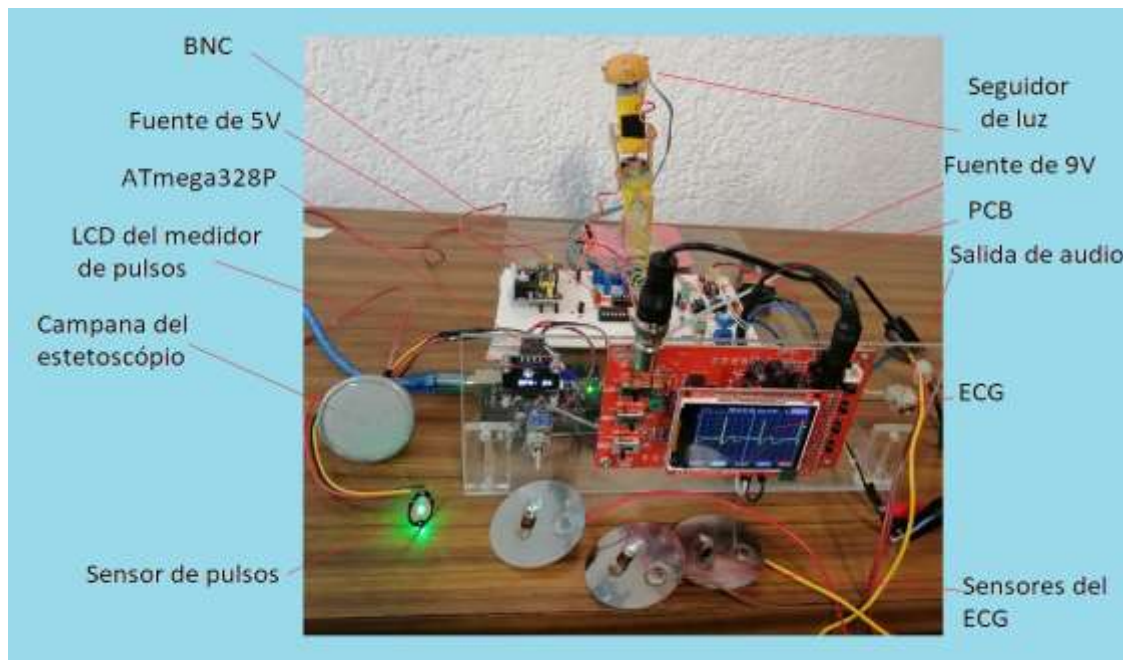


Figura 30. Prototipo completo y montado en acrílico (elaboración propia).

Conclusiones

El prototipo logrado ha cumplido satisfactoriamente con los objetivos propuestos, dado que fue presentado ante grupos de alumnos de bachillerato y fue visto como un referente para poder armar alguno de los proyectos sugeridos. Los diversos proyectos armados sobre el gabinete, han funcionado correctamente cumpliendo con lo planeado en un principio. En un trabajo a futuro, se pretende seguir ampliando el número de proyectos para contar con una mayor diversidad de ellos.

Agradecimientos

Un agradecimiento a la DGAPA por su apoyo para la realización de este trabajo, al respaldar el proyecto PAPIME PE113524, titulado “Súper aplicación aula conecta ICAT: Llevando la enseñanza de la física y las matemáticas a entornos mixtos en las EMS”.

Referencias y Bibliografía

AVAGO TECH, APDS 908 sensor óptico a 565 nm, disponible en: <https://docs.broadcom.com/doc/AV02-1169EN>, consultado: febrero, 2025.

Brazo robótico, disponible en: <https://www.mercadolibre.com.mx/kit-didactico-brazo-robotico-hidraulico-para-armar-ninos/up/MLMU496725020>, consultado: febrero, 2025.

Cooper, W., Helfrick, A., Instrumentación Electrónica Moderna y Técnicas De Medición, México: Prentice Hall, 1991.

Electrocrea, disponible en: <https://electrocrea.com/productos/>, consultado: marzo, 2025.

Franco S., Diseño con amplificadores operacionales y circuitos integrados analógicos, McGraw Hill, México, 2005.

Placa madre, disponible en: <https://www.istockphoto.com/es/foto/futurista-placa-de-circuitos-azul-con-elecrns-gm483147081-20580581?searchscope=image%2Cfilm>, consultado: enero, año 2025.

Salud infantil, oximetría, disponible en: http://www.saludinfantil.org/Guia_Alegria/guia/49.-Oximetro_Pulso/49.-%20OximetriaPulso.htm, consultado: enero, año 2025.

SCA, El sonido, disponible en: www.ptolomeo.unam.mx, consultado: febrero 2025.

Sparkfun, sensor de pulso cardiaco y electrónica de amplificación, disponible en: <https://cdn.sparkfun.com/datasheets/Sensors/Biometric/>, consultado: marzo, año 2025.

Webster J., Encyclopedia of Medical Devices and Instrumentation, Wiley, 1988.

APÉNDICE A

Lista de material

Seguidor de luz

Cantidad	Componente	Características	Imagen
4	Fotorresistencias	2 M Ω /100VCA	
1	Amplificador operacional	LM324	
1	Puente H	L293B	
3	Potenciómetros	Trimpot (1k Ω)	
4	Resistencias	1k Ω , 1/2 W	
4	Leds	5mm, rojo	
2	Manorreductores	Vnom. 6V, 150mA	
1	Fuente de voltaje	5volts, para protoboard	
20	Jumper	Macho-Macho	
1	Cable	1 metro, Plano 8 hilos	

Lista de material

Estetoscopio

Cantidad	Componente	Valor	Imagen
1	Micrófono	Electret	
2	circuito integrado	LMC7111	
	circuito integrado	MC34119	
5	Resistencias	10K Ω , 1/2W	
1	Resistencias	1K Ω , 1/2W	
1	Resistencias	3K Ω , 1/2W	
1	Resistencias	68K Ω , 1/2W	
1	Potenciómetro Trimpot Horizontal	100K Ω	
4	Capacitor	0.1uF	
1	Capacitor	4.7uF	
1	Capacitor	10uF	
2	Conectores para tarjeta con tornillo	2 Terminales	
1	Conector Molex	2 Terminales	

1	Conector	Para batería de 9V	
1	Jack	Mono de 3.5mm	
1	Cable	1 metro, Plano 2 hilos	
1	Plug	Estéreo 3.5mm	
1	Globo	Pequeño	
1	Tapa	De garrafón	
1	Liga	Elástica	

Lista de material

ECG

Cantidad	Componente	Valor	Imagen
1	Pantalla de osciloscopio	DSO138	
1	Tarjeta de Amplificación	AD8232	
1	Conector con cable	BNC con Caimanes	
2	Jumper	Hembra-Hembra de 20 cm de largo	 
3	Jumper	Hembra-Macho 20 cm de largo	 
3	Discos	Metálicos de 4 cm de diámetro	

1	Conector	Plug invertido 2.5 mm	
1	Conector	Para batería de 9V	
1	Batería	9 Volts	
1	Cable	1 metro, Plano 3 hilos	

Lista de material

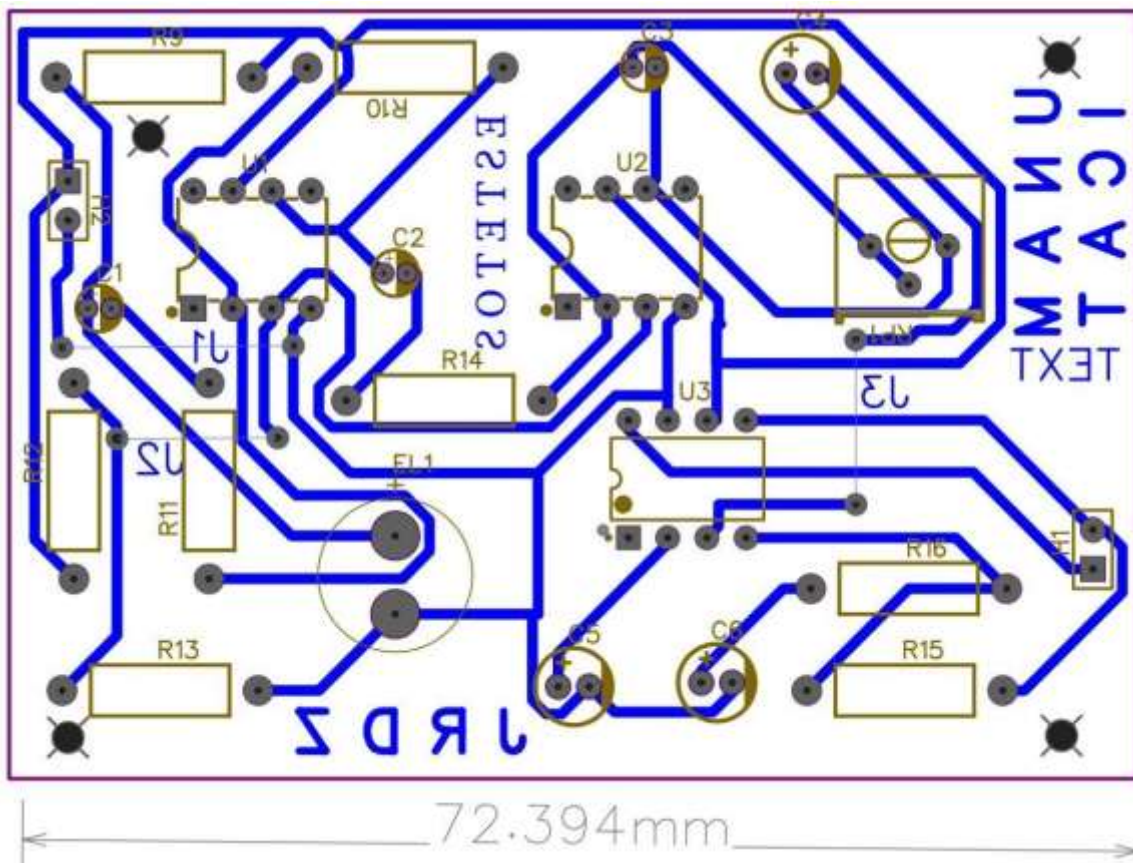
Medidor de frecuencia cardiaca

Cantidad	Componente	Valor	Imagen
1	Tarjeta de desarrollo	Arduino uno	
1	Display	LCD OLED GM009601	
7	Jumper	Hembra-Macho 20 cm de largo	
1	Sensor de pulsos	SEN-11574	
1	Conector	Plug invertido 2.5 mm	
1	Conector	Para batería de 9V	
1	Batería	9 Volts	
1	Cable plano	1 m. cable plano 3 hilos	

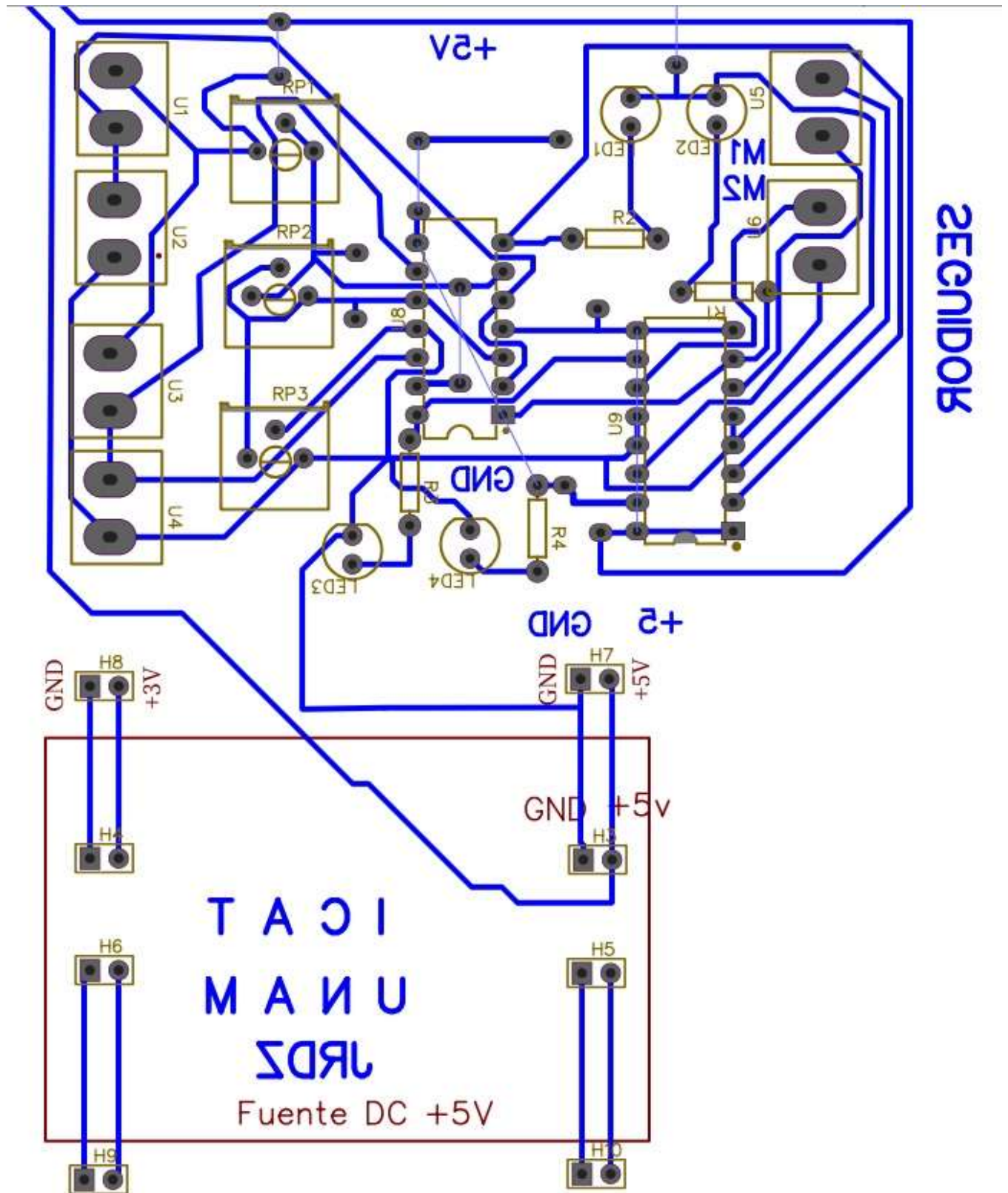
Apéndice B

Circuitos impresos

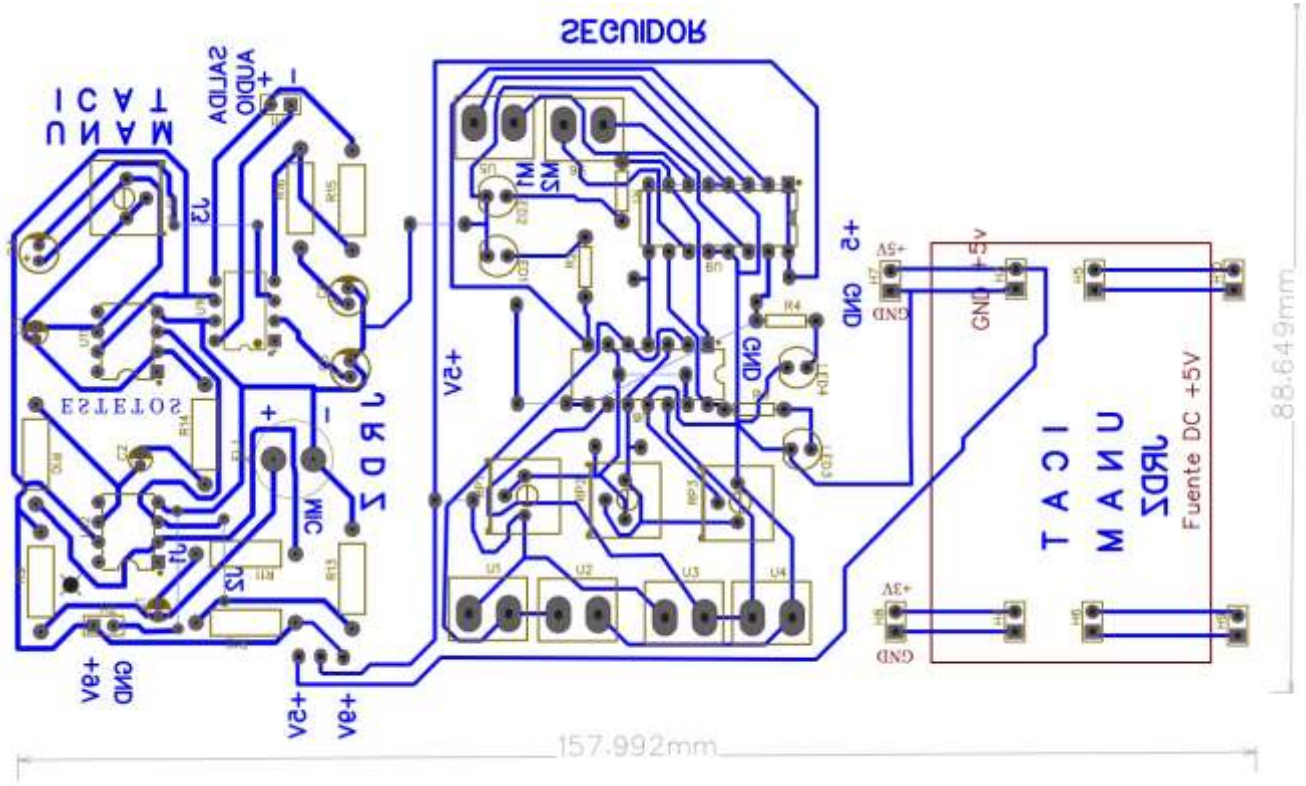
Estetoscopio



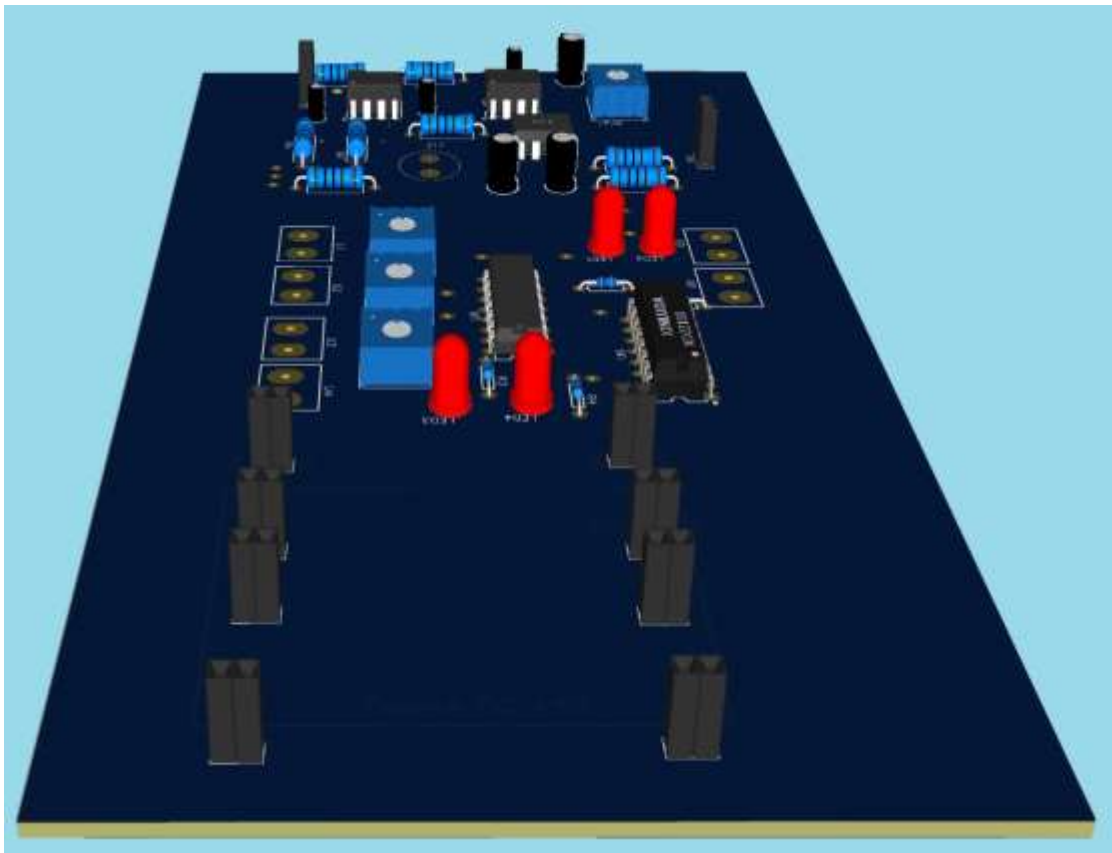
Seguidor de luz



PCB(Completo)



PCB (completo) vista 3D



Apéndice C

Hojas de datos

 Product Folder

 Sample & Buy

 Technical Documents

 Tools & Software

 Support & Community



L293, L293D

SLRS008D – SEPTEMBER 1986 – REVISED JANUARY 2016

L293x Quadruple Half-H Drivers

1 Features

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

2 Applications

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

3 Description

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

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

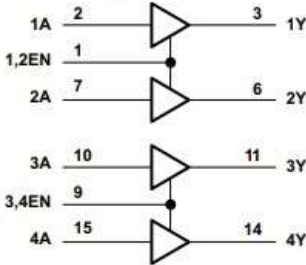
The L293 and L293D are characterized for operation from 0°C to 70°C.

Device Information⁽¹⁾

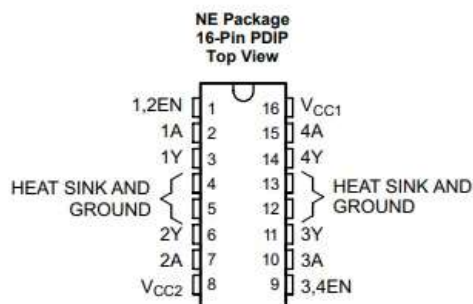
PART NUMBER	PACKAGE	BODY SIZE (NOM)
L293NE	PDIP (16)	19.80 mm × 6.35 mm
L293DNE	PDIP (16)	19.80 mm × 6.35 mm

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

Logic Diagram



5 Pin Configuration and Functions



Pin Functions

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

L293, L293D

SLRS008D – SEPTEMBER 1986 – REVISED JANUARY 2016

www.ti.com

6 Specifications

6.1 Absolute Maximum Ratings

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

	MIN	MAX	UNIT
Supply voltage, V_{CC1} ⁽²⁾		36	V
Output supply voltage, V_{CC2}		36	V
Input voltage, V_I		7	V
Output voltage, V_O	–3	$V_{CC2} + 3$	V
Peak output current, I_O (nonrepetitive, $t \leq 5$ ms): L293	–2	2	A
Peak output current, I_O (nonrepetitive, $t \leq 100$ μ s): L293D	–1.2	1.2	A
Continuous output current, I_O : L293	–1	1	A
Continuous output current, I_O : L293D	–600	600	mA
Maximum junction temperature, T_J		150	°C
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) All voltage values are with respect to the network ground terminal.

6.2 ESD Ratings

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

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

6.3 Recommended Operating Conditions

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

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

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

6.4 Thermal Information

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

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

6.5 Electrical Characteristics

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

PARAMETER		TEST CONDITIONS		MIN	TYP	MAX	UNIT
V_{OH}	High-level output voltage	L293: $I_{OH} = -1$ A L293D: $I_{OH} = -0.6$ A		$V_{CC2} - 1.8$	$V_{CC2} - 1.4$		V
V_{OL}	Low-level output voltage	L293: $I_{OL} = 1$ A L293D: $I_{OL} = 0.6$ A			1.2	1.8	V
V_{OHZ}	High-level output clamp voltage	L293D: $I_{OK} = -0.6$ A			$V_{CC2} + 1.3$		V
V_{OLZ}	Low-level output clamp voltage	L293D: $I_{OK} = 0.6$ A			1.3		V
I_{IH}	High-level input current	A	$V_I = 7$ V		0.2	100	μ A
		EN			0.2	10	
I_{IL}	Low-level input current	A	$V_I = 0$		-3	-10	μ A
		EN			-2	-100	
I_{CC1}	Logic supply current		$I_O = 0$	All outputs at high level All outputs at low level All outputs at high impedance	13 35 8	22 60 24	mA
I_{CC2}	Output supply current		$I_O = 0$	All outputs at high level All outputs at low level All outputs at high impedance	14 2 2	24 6 4	mA

6.6 Switching Characteristics

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

PARAMETER	TEST CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNIT
t_{PLH} Propagation delay time, low-to-high-level output from A input	L293NE, L293DNE L293DWP, L293N L293DN		600		ns
t_{PHL} Propagation delay time, high-to-low-level output from A input	L293NE, L293DNE L293DWP, L293N L293DN		400		ns
t_{TLH} Transition time, low-to-high-level output	L293NE, L293DNE L293DWP, L293N L293DN		200		ns
t_{THL} Transition time, high-to-low-level output	L293NE, L293DNE L293DWP, L293N L293DN		300		ns

6.7 Typical Characteristics

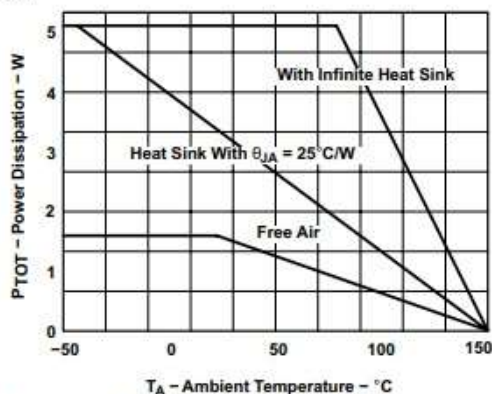


Figure 1. Maximum Power Dissipation vs Ambient Temperature

8 Detailed Description

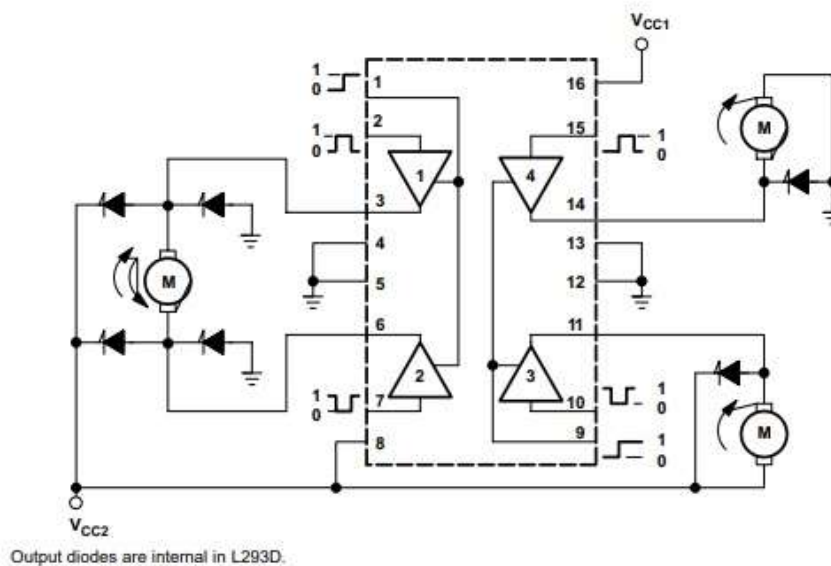
8.1 Overview

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

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

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

8.2 Functional Block Diagram



8.3 Feature Description

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

L293, L293D

SLRS008D – SEPTEMBER 1986 – REVISED JANUARY 2016

www.ti.com

8.4 Device Functional Modes

Table 1 lists the functional modes of the L293x.

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

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

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

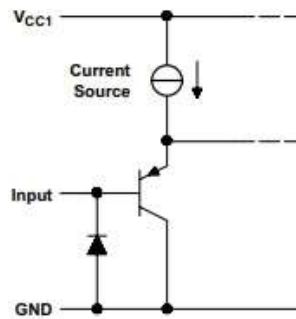


Figure 3. Schematic of Inputs for the L293x

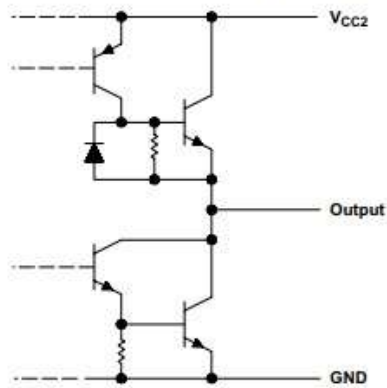


Figure 4. Schematic of Outputs for the L293

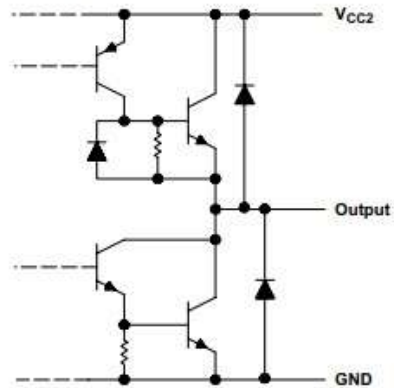


Figure 5. Schematic of Outputs for the L293D

LMx24-N, LM2902-N Low-Power, Quad-Operational Amplifiers

1 Features

- Internally Frequency Compensated for Unity Gain
- Large DC Voltage Gain 100 dB
- Wide Bandwidth (Unity Gain) 1 MHz (Temperature Compensated)
- Wide Power Supply Range:
 - Single Supply 3 V to 32 V
 - or Dual Supplies ± 1.5 V to ± 16 V
- Very Low Supply Current Drain (700 μ A) —Essentially Independent of Supply Voltage
- Low Input Biasing Current 45 nA (Temperature Compensated)
- Low Input Offset Voltage 2 mV and Offset Current: 5 nA
- Input Common-Mode Voltage Range Includes Ground
- Differential Input Voltage Range Equal to the Power Supply Voltage
- Large Output Voltage Swing 0 V to $V^+ - 1.5$ V
- **Advantages:**
 - Eliminates Need for Dual Supplies
 - Four Internally Compensated Op Amps in a Single Package
 - Allows Direct Sensing Near GND and V_{OUT} also Goes to GND
 - Compatible With All Forms of Logic
 - Power Drain Suitable for Battery Operation
 - In the Linear Mode the Input Common-Mode Voltage Range Includes Ground and the Output Voltage
 - Can Swing to Ground, Even Though Operated from Only a Single Power Supply Voltage
 - Unity Gain Cross Frequency is Temperature Compensated
 - Input Bias Current is Also Temperature Compensated

2 Applications

- Transducer Amplifiers
- DC Gain Blocks
- Conventional Op Amp Circuits

3 Description

The LM124-N series consists of four independent, high-gain, internally frequency compensated operational amplifiers designed to operate from a single power supply over a wide range of voltages. Operation from split-power supplies is also possible and the low-power supply current drain is independent of the magnitude of the power supply voltage.

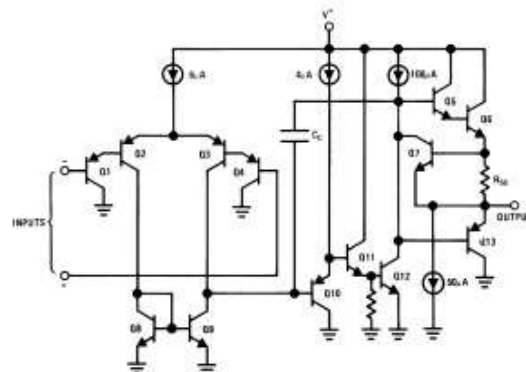
Application areas include transducer amplifiers, DC gain blocks and all the conventional op amp circuits which now can be more easily implemented in single power supply systems. For example, the LM124-N series can directly operate off of the standard 5-V power supply voltage which is used in digital systems and easily provides the required interface electronics without requiring the additional ± 15 V power supplies.

Device Information⁽¹⁾

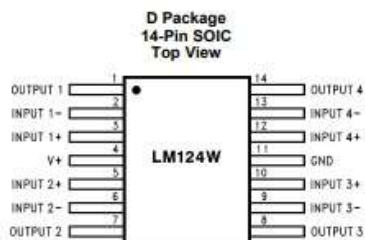
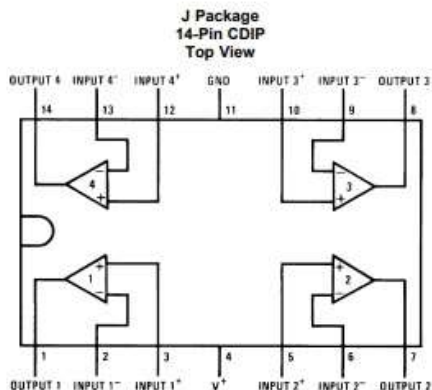
PART NUMBER	PACKAGE	BODY SIZE (NOM)
LM124-N	CDIP (14)	19.56 mm $\times$ 6.67 mm
LM224-N	CDIP (14)	19.56 mm $\times$ 6.67 mm
LM324-N	CDIP (14)	19.56 mm $\times$ 6.67 mm
	PDIP (14)	19.177 mm $\times$ 6.35 mm
	SOIC (14)	8.65 mm $\times$ 3.91 mm
	TSSOP (14)	5.00 mm $\times$ 4.40 mm
LM2902-N	PDIP (14)	19.177 mm $\times$ 6.35 mm
	SOIC (14)	8.65 mm $\times$ 3.91 mm
	TSSOP (14)	5.00 mm $\times$ 4.40 mm

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

Schematic Diagram



5 Pin Configuration and Functions



Pin Functions

PIN		TYPE	DESCRIPTION
NAME	NO.		
OUTPUT1	1	O	Output, Channel 1
INPUT1-	2	I	Inverting Input, Channel 1
INPUT1+	3	I	Noninverting Input, Channel 1
V+	4	P	Positive Supply Voltage
INPUT2+	5	I	Noninverting Input, Channel 2
INPUT2-	6	I	Inverting Input, Channel 2
OUTPUT2	7	O	Output, Channel 2
OUTPUT3	8	O	Output, Channel 3
INPUT3-	9	I	Inverting Input, Channel 3
INPUT3+	10	I	Noninverting Input, Channel 3
GND	11	P	Ground or Negative Supply Voltage
INPUT4+	12	I	Noninverting Input, Channel 4
INPUT4-	13	I	Inverting Input, Channel 4
OUTPUT4	14	O	Output, Channel 4

6 Specifications

6.1 Absolute Maximum Ratings

See (1)(2).

			LM124-N/LM224-N/LM324-N LM124A/LM224A/LM324A		LM2902-N	
			MIN	MAX	MIN	MAX UNIT
Supply Voltage, V*				32	26	V
Differential Input Voltage				32	26	V
Input Voltage			-0.3	32	-0.3	26 V
Input Current ($V_{IN} < -0.3\text{ V}$) ⁽³⁾				50	50	mA
Power Dissipation ⁽⁴⁾	PDIP			1130	1130	mW
	CDIP			1260	1260	mW
	SOIC Package			800	800	mW
Output Short-Circuit to GND (One Amplifier) ⁽⁵⁾		$V^+ \leq 15\text{ V}$ and $T_A = 25^\circ\text{C}$	Continuous		Continuous	
Lead Temperature (Soldering, 10 seconds)				260	260	°C
Soldering Information	Dual-In-Line Package	Soldering (10 seconds)		260	260	°C
	Small Outline Package	Vapor Phase (60 seconds)		215	215	°C
		Infrared (15 seconds)		220	220	°C
Storage temperature, T_{stg}			-65	150	-65	150 °C

- (1) Refer to RETS124AX for LM124A military specifications and refer to RETS124X for LM124-N military specifications.
- (2) If Military/Aerospace specified devices are required, please contact the Texas Instruments Sales Office/ Distributors for availability and specifications.
- (3) This input current will only exist when the voltage at any of the input leads is driven negative. It is due to the collector-base junction of the input PNP transistors becoming forward biased and thereby acting as input diode clamps. In addition to this diode action, there is also lateral NPN parasitic transistor action on the IC chip. This transistor action can cause the output voltages of the op amps to go to the V^+ voltage level (or to ground for a large overdrive) for the time duration that an input is driven negative. This is not destructive and normal output states will re-establish when the input voltage, which was negative, again returns to a value greater than -0.3 V (at 25°C).
- (4) For operating at high temperatures, the LM324-N/LM324A/LM2902-N must be derated based on a 125°C maximum junction temperature and a thermal resistance of 88°C/W which applies for the device soldered in a printed circuit board, operating in a still air ambient. The LM224-N/LM224A and LM124-N/LM124A can be derated based on a 150°C maximum junction temperature. The dissipation is the total of all four amplifiers—use external resistors, where possible, to allow the amplifier to saturate or to reduce the power which is dissipated in the integrated circuit.
- (5) Short circuits from the output to V^+ can cause excessive heating and eventual destruction. When considering short circuits to ground, the maximum output current is approximately 40 mA independent of the magnitude of V^+ . At values of supply voltage in excess of 15 V, continuous short-circuits can exceed the power dissipation ratings and cause eventual destruction. Destructive dissipation can result from simultaneous shorts on all amplifiers.

6.2 ESD Ratings

			VALUE	UNIT
V_{ESD}	Electrostatic discharge	Human-body model (HBM), per ANSI/ESDA/JEDEC JS-001 ⁽¹⁾	± 250	V

- (1) 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	MAX	UNIT
Supply Voltage ($V^+ - V^-$): LM124-N/LM124A/LM224-N/LM224A/LM324-N/LM324A	3	32	V
Supply Voltage ($V^+ - V^-$): LM2902-N	3	26	V
Operating Input Voltage on Input pins	0	V^+	V
Operating junction temperature, T_J : LM124-N/LM124A	-55	125	$^\circ\text{C}$
Operating junction temperature, T_J : LM2902-N	-40	85	$^\circ\text{C}$
Operating junction temperature, T_J : LM224-N/LM224A	-25	85	$^\circ\text{C}$
Operating junction temperature, T_J : LM324-N/LM324A	0	70	$^\circ\text{C}$

6.4 Thermal Information

THERMAL METRIC ⁽¹⁾	LM124-N / LM224-N	LM324-N / LM2902-N	UNIT
	J/CDIP	D/SOIC	
	14 PINS	14 PINS	
$R_{\theta JA}$ Junction-to-ambient thermal resistance	88	88	°C/W

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

6.5 Electrical Characteristics: LM124A/224A/324A

$V^+ = 5.0\text{ V}$, ⁽¹⁾, unless otherwise stated

PARAMETER	TEST CONDITIONS	LM124A			LM224A			LM324A			UNIT
		MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	
Input Offset Voltage	$T_A = 25^\circ\text{C}^{(2)}$		1	2		1	3		2	3	mV
Input Bias Current ⁽²⁾	$I_{IN(+)} \text{ or } I_{IN(-)}, V_{CM} = 0\text{ V}, T_A = 25^\circ\text{C}$		20	50		40	80		45	100	nA
Input Offset Current	$I_{IN(+)} \text{ or } I_{IN(-)}, V_{CM} = 0\text{ V}, T_A = 25^\circ\text{C}$		2	10		2	15		5	30	nA
Input Common-Mode Voltage Range ⁽⁴⁾	$V^+ = 30\text{ V}$, (LM2902-N, $V^+ = 26\text{ V}$), $T_A = 25^\circ\text{C}$	0		$V^+ - 1.5$	0		$V^+ - 1.5$	0		$V^+ - 1.5$	V
Supply Current	Over Full Temperature Range, $R_L = \infty$ On All Op Amps $V^+ = 30\text{ V}$ (LM2902-N $V^+ = 26\text{ V}$)		1.5	3		1.5	3		1.5	3	mA
	$V^+ = 5\text{ V}$		0.7	1.2		0.7	1.2		0.7	1.2	
Large Signal Voltage Gain	$V^+ = 15\text{ V}$, $R_L \geq 2\text{ k}\Omega$, ($V_O = 1\text{ V}$ to 11 V), $T_A = 25^\circ\text{C}$	50	100		50	100		25	100		V/mV
Common-Mode Rejection Ratio	DC, $V_{CM} = 0\text{ V}$ to $V^+ - 1.5\text{ V}$, $T_A = 25^\circ\text{C}$	70	85		70	85		65	85		dB
Power Supply Rejection Ratio	$V^+ = 5\text{ V}$ to 30 V , (LM2902-N, $V^+ = 5\text{ V}$ to 26 V), $T_A = 25^\circ\text{C}$	65	100		65	100		65	100		dB
Amplifier-to-Amplifier Coupling ⁽⁵⁾	$f = 1\text{ kHz}$ to 20 kHz , $T_A = 25^\circ\text{C}$, (Input Referred)		-120			-120			-120		dB
Output Current	Source $V_{IN}^+ = 1\text{ V}$, $V_{IN}^- = 0\text{ V}$, $V^+ = 15\text{ V}$, $V_O = 2\text{ V}$, $T_A = 25^\circ\text{C}$	20	40		20	40		20	40		mA
	Sink $V_{IN}^+ = 1\text{ V}$, $V_{IN}^- = 0\text{ V}$, $V^+ = 15\text{ V}$, $V_O = 2\text{ V}$, $T_A = 25^\circ\text{C}$	10	20		10	20		10	20		
	$V_{IN}^+ = 1\text{ V}$, $V_{IN}^- = 0\text{ V}$, $V^+ = 15\text{ V}$, $V_O = 200\text{ mV}$, $T_A = 25^\circ\text{C}$	12	50		12	50		12	50		
Short Circuit to Ground	$V^+ = 15\text{ V}$, $T_A = 25^\circ\text{C}^{(6)}$	40	60		40	60		40	60		mA
Input Offset Voltage	See ⁽²⁾		4			4			5		mV
V_{OS} Drift	$R_S = 0\text{ }\Omega$		7	20		7	20		7	30	$\mu\text{V}/^\circ\text{C}$
Input Offset Current	$I_{IN(+)} - I_{IN(-)}, V_{CM} = 0\text{ V}$		30			30			75		nA

(1) These specifications are limited to $-55^\circ\text{C} \leq T_A \leq +125^\circ\text{C}$ for the LM124-N/LM124A. With the LM224-N/LM224A, all temperature specifications are limited to $-25^\circ\text{C} \leq T_A \leq +85^\circ\text{C}$, the LM324-N/LM324A temperature specifications are limited to $0^\circ\text{C} \leq T_A \leq +70^\circ\text{C}$, and the LM2902-N specifications are limited to $-40^\circ\text{C} \leq T_A \leq +85^\circ\text{C}$.

(2) $V_O = 1.4\text{ V}$, $R_S = 0\text{ }\Omega$ with V^+ from 5 V to 30 V ; and over the full input common-mode range (0 V to $V^+ - 1.5\text{ V}$) for LM2902-N, V^+ from 5 V to 26 V .

(3) The direction of the input current is out of the IC due to the PNP input stage. This current is essentially constant, independent of the state of the output so no loading change exists on the input lines.

(4) The input common-mode voltage of either input signal voltage should not be allowed to go negative by more than 0.3 V (at 25°C). The upper end of the common-mode voltage range is $V^+ - 1.5\text{ V}$ (at 25°C), but either or both inputs can go to 32 V without damage (26 V for LM2902-N), independent of the magnitude of V^+ .

(5) Due to proximity of external components, insure that coupling is not originating via stray capacitance between these external parts. This typically can be detected as this type of capacitance increases at higher frequencies.

(6) Short circuits from the output to V^+ can cause excessive heating and eventual destruction. When considering short circuits to ground, the maximum output current is approximately 40 mA independent of the magnitude of V^+ . At values of supply voltage in excess of 15 V , continuous short-circuits can exceed the power dissipation ratings and cause eventual destruction. Destructive dissipation can result from simultaneous shorts on all amplifiers.



Order this document by MC34119/D

MC34119

Low Power Audio Amplifier

The MC34119 is a low power audio amplifier integrated circuit intended (primarily) for telephone applications, such as in speakerphones. It provides differential speaker outputs to maximize output swing at low supply voltages (2.0 V minimum). Coupling capacitors to the speaker are not required. Open loop gain is 80 dB, and the closed loop gain is set with two external resistors. A Chip Disable pin permits powering down and/or muting the input signal. The MC34119 is available in standard 8-pin DIP, SOIC package, and TSSOP package.

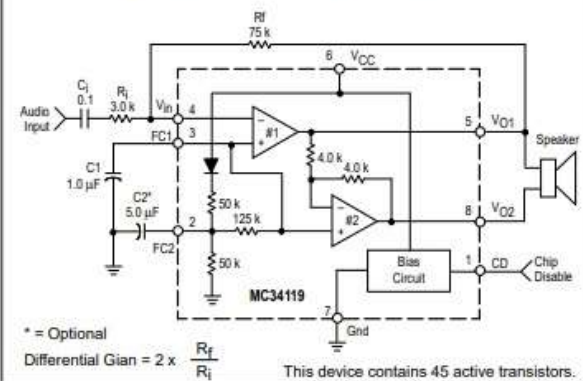
- Wide Operating Supply Voltage Range (2.0 V to 16 V), Allows Telephone Line Powered Applications
- Low Quiescent Supply Current (2.7 mA Typ) for Battery Powered Applications
- Chip Disable Input to Power Down the IC
- Low Power-Down Quiescent Current (65 μ A Typ)
- Drives a Wide Range of Speaker Loads (8.0 Ω and Up)
- Output Power Exceeds 250 mW with 32 Ω Speaker
- Low Total Harmonic Distortion (0.5% Typ)
- Gain Adjustable from <0 dB to >46 dB for Voice Band
- Requires Few External Components

MAXIMUM RATINGS

Rating	Value	Unit
Supply Voltage	-1.0 to +18	Vdc
Maximum Output Current at VO1, VO2	$\pm$ 250	mA
Maximum Voltage @ VIN, FC1, FC2, CD Applied Output Voltage to VO1, VO2 when disabled	-1.0, VCC + 1.0 -1.0, VCC + 1.0	Vdc
Junction Temperature	-55, +140	°C

NOTE: ESD data available upon request.

Block Diagram and Simplified Application



LOW POWER AUDIO AMPLIFIER

SEMICONDUCTOR TECHNICAL DATA



P SUFFIX
PLASTIC PACKAGE
CASE 626

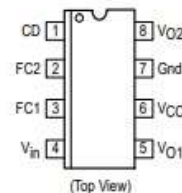


D SUFFIX
PLASTIC PACKAGE
CASE 751
(SO-8)



DTB SUFFIX
PLASTIC PACKAGE
CASE 948J
(TSSOP)

PIN CONNECTIONS



ORDERING INFORMATION

Device	Operating Temperature Range	Package
MC34119P	$T_A = -20^\circ \text{ to } +70^\circ \text{C}$	Plastic DIP
MC34119D		SO-8
MC34119DTB		TSSOP

© Motorola, Inc. 1996

Rev 1

MC34119

RECOMMENDED OPERATING CONDITIONS

Characteristics	Symbol	Min	Max	Unit
Supply Voltage	V_{CC}	+2.0	+16	Vdc
Voltage @ CD (Pin 1)	V_{CD}	0	V_{CC}	Vdc
Load Impedance	R_L	8.0	—	Ω
Peak Load Current	I_L	—	± 200	mA
Differential Gain (5.0 kHz Bandwidth)	AVD	0	46	dB
Ambient Temperature	T_A	-20	+70	$^{\circ}\text{C}$

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

Characteristics	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
-----------------	--------	-----	-----	-----	------

AMPLIFIERS (AC CHARACTERISTICS)

AC Input Resistance (@ V_{IN})	r_i	—	>30	—	M Ω
Open Loop Gain (Amplifier #1, $f < 100$ Hz)	A_{VOL1}	80	—	—	dB
Closed Loop Gain (Amplifier #2, $V_{CC} = 6.0$ V, $f = 1.0$ kHz, $R_L = 32$ Ω)	A_{V2}	-0.35	0	+0.35	dB
Gain Bandwidth Product	GBW	—	1.5	—	MHz
Output Power; $V_{CC} = 3.0$ V, $R_L = 16$ Ω , THD $\leq 10\%$ $V_{CC} = 6.0$ V, $R_L = 32$ Ω , THD $\leq 10\%$ $V_{CC} = 12$ V, $R_L = 100$ Ω , THD $\leq 10\%$	P_{Out3} P_{Out6} P_{Out12}	55 250 400	— — —	— — —	mW
Total Harmonic Distortion ($f = 1.0$ kHz) ($V_{CC} = 6.0$ V, $R_L = 32$ Ω , $P_{out} = 125$ mW) ($V_{CC} \geq 3.0$ V, $R_L = 8.0$ Ω , $P_{out} = 20$ mW) ($V_{CC} \geq 12$ V, $R_L = 32$ Ω , $P_{out} = 200$ mW)	THD	— — —	0.5 0.5 0.6	1.0 — —	%
Power Supply Rejection ($V_{CC} = 6.0$ V, $\Delta V_{CC} = 3.0$ V) ($C_1 = \infty$, $C_2 = 0.01$ μF) ($C_1 = 0.1$ μF , $C_2 = 0$, $f = 1.0$ kHz) ($C_1 = 1.0$ μF , $C_2 = 5.0$ μF , $f = 1.0$ kHz)	PSRR	50 — —	— 12 52	— — —	dB
Differential Muting ($V_{CC} = 6.0$ V, 1.0 kHz $\leq f \leq 20$ kHz, CD = 2.0 V)	GMT	—	>70	—	dB

AMPLIFIERS (DC CHARACTERISTICS)

Output DC Level @ V_{O1} , V_{O2} , $V_{CC} = 3.0$ V, $R_L = 16$ ($R_f = 75$ k) $V_{CC} = 6.0$ V $V_{CC} = 12$ V	$V_{O(3)}$ $V_{O(6)}$ $V_{O(12)}$	1.0 — —	1.15 2.65 5.65	1.25 — —	Vdc
Output Level High ($I_{out} = -75$ mA, 2.0 V $\leq V_{CC} \leq 16$ V) Low ($I_{out} = 75$ mA, 2.0 V $\leq V_{CC} \leq 16$ V)	V_{OH} V_{OL}	— —	$V_{CC} - 1.0$ 0.16	— —	Vdc
Output DC Offset Voltage ($V_{O1} - V_{O2}$) ($V_{CC} = 6.0$ V, $R_f = 75$ k Ω , $R_L = 32$ Ω)	ΔV_O	-30	0	+30	mV
Input Bias Current @ V_{in} ($V_{CC} = 6.0$ V)	I_{IB}	—	-100	-200	nA
Equivalent Resistance @ FC1 ($V_{CC} = 6.0$ V) @ FC2 ($V_{CC} = 6.0$ V)	R_{FC1} R_{FC2}	100 18	150 25	220 40	k Ω

CHIP DISABLE (Pin 1)

Input Voltage Low High	V_{IL} V_{IH}	— 2.0	— —	0.8 —	Vdc
Input Resistance ($V_{CC} = V_{CD} = 16$ V)	R_{CD}	50	90	175	k Ω

POWER SUPPLY

Power Supply Current ($V_{CC} = 3.0$ V, $R_L = \infty$, CD = 0.8 V) ($V_{CC} = 16$ V, $R_L = \infty$, CD = 0.8 V) ($V_{CC} = 3.0$ V, $R_L = \infty$, CD = 2.0 V)	I_{CC3} I_{CC16} I_{CCD}	— — —	2.7 3.3 65	4.0 5.0 100	mA mA μA
---	--------------------------------------	-------------	------------------	-------------------	---------------------------

NOTE: Currents into a pin are positive, currents out of a pin are negative.

MC34119

Figure 16. Small Signal Response

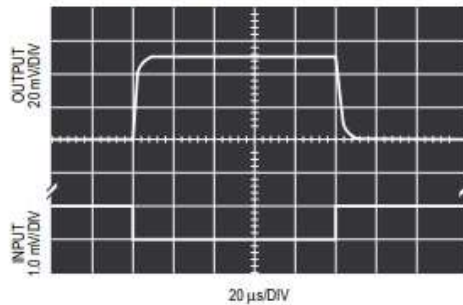


Figure 17. Large Signal Response

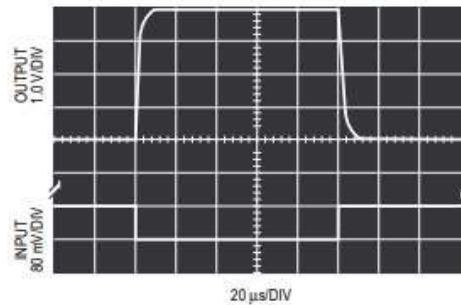


Figure 18. $V_{CC}-V_{OH}$ @ V_{O1} , V_{O2} versus Load Current

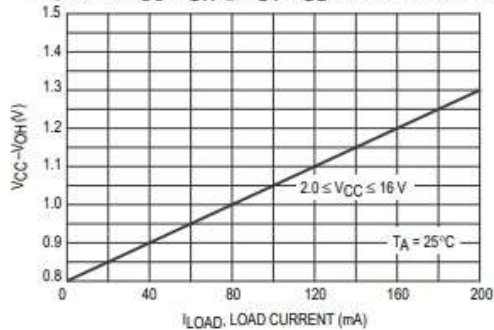


Figure 19. V_{OL} @ V_{O1} , V_{O2} versus Load Current

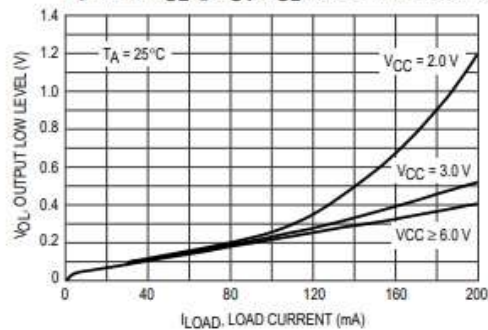


Figure 20. Input Characteristics @ CD (Pin 1)

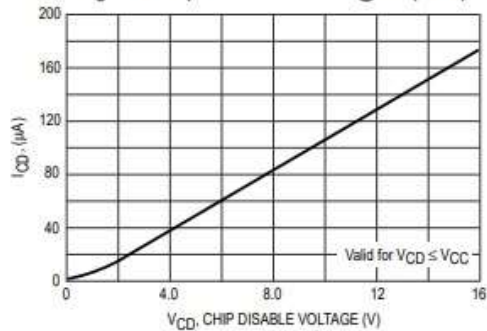
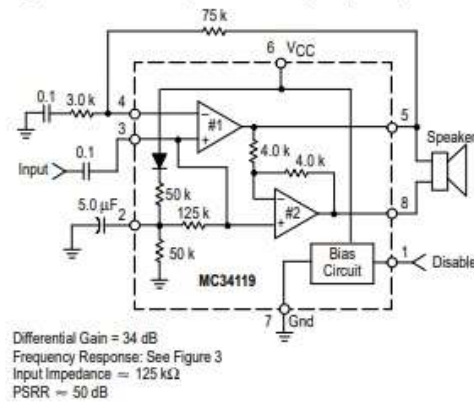


Figure 21. Audio Amplifier with High Input Impedance



MC34119

Figure 22. Audio Amplifier with Bass Suppression

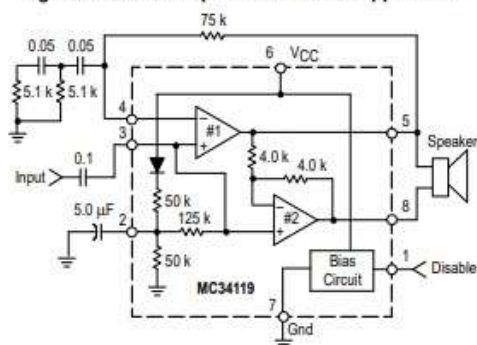


Figure 23. Frequency Response of Figure 22

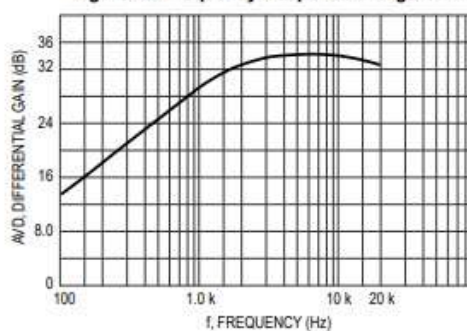


Figure 24. Audio Amplifier with Bandpass

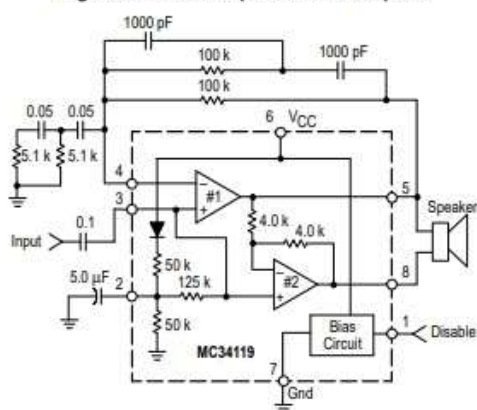


Figure 25. Frequency Response of Figure 24

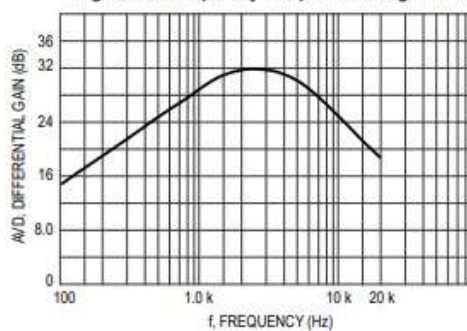
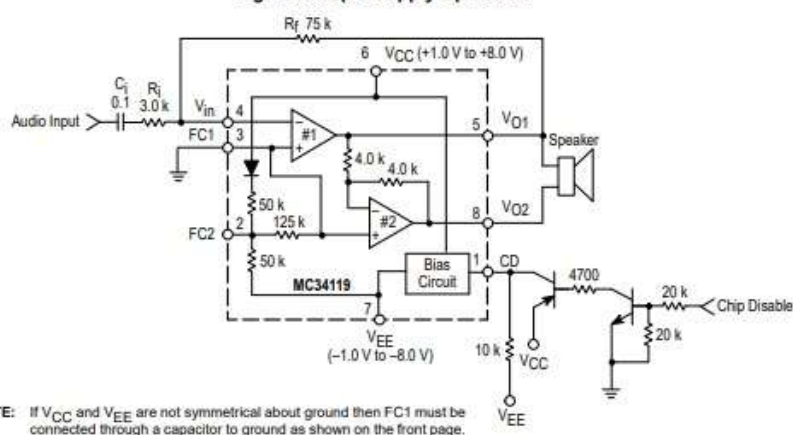


Figure 26. Split Supply Operation



NOTE: If V_{CC} and V_{EE} are not symmetrical about ground then FC1 must be connected through a capacitor to ground as shown on the front page.

1.4MHz, Low Power CMOS Operational Amplifiers

The ICL7611X/762X/764X series is a family of monolithic CMOS operational amplifiers. These devices provide the designer with high performance operation at low supply voltages and selectable quiescent currents, and are an ideal design tool when ultra low input current and low power dissipation are desired.

The basic amplifier will operate at supply voltages ranging from $\pm 1V$ to $\pm 8V$, and may be operated from a single Lithium cell.

A unique quiescent current programming pin allows setting of standby current to 1mA, 100 μ A, or 10 μ A, with no external components. This results in power consumption as low as 20 μ W. The output swing ranges to within a few millivolts of the supply voltages.

Of particular significance is the extremely low (1pA) input current, input noise current of 0.01pA/ $\sqrt{Hz}$, and $10^{12}\Omega$ input impedance. These features optimize performance in very high source impedance applications.

The inputs are internally protected. Outputs are fully protected against short circuits to ground or to either supply.

AC performance is excellent, with a slew rate of 1.6V/ μ s, and unity gain bandwidth of 1MHz at $I_Q = 1mA$.

Because of the low power dissipation, junction temperature rise and drift are quite low. Applications utilizing these features may include stable instruments, extended life designs, or high density packages.

Ordering Information

PART NUMBER	TEMP. RANGE (°C)	PACKAGE	PKG. NO.
ICL7611BCPA	0 to 70	8 Ld PDIP - B Grade	E8.3
ICL7611DCPA	0 to 70	8 Ld PDIP - D Grade	E8.3
ICL7611DCBA	0 to 70	8 Ld SOIC - D Grade	M8.15
ICL7611DCBA-T	0 to 70	8 Ld SOIC - D Grade Tape and Reel	M8.15
ICL7612BCPA	0 to 70	8 Ld PDIP - B Grade	E8.3
ICL7612DCPA	0 to 70	8 Ld PDIP - D Grade	E8.3
ICL7612DCBA	0 to 70	8 Ld SOIC - D Grade	M8.15
ICL7612DCBA-T	0 to 70	8 Ld SOIC - D Grade Tape and Reel	M8.15

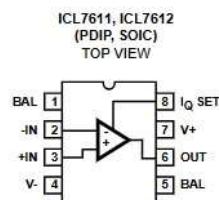
Features

- Wide Operating Voltage Range $\pm 1V$ to $\pm 8V$
- High Input Impedance $10^{12}\Omega$
- Programmable Power Consumption Low as 20 μ W
- Input Current Lower Than BIFETs 1pA (Typ)
- Output Voltage Swing $V+$ and $V-$
- Input Common Mode Voltage Range Greater Than Supply Rails (ICL7612)

Applications

- Portable Instruments
- Telephone Headsets
- Hearing Aid/Microphone Amplifiers
- Meter Amplifiers
- Medical Instruments
- High Impedance Buffers

Pinouts



ICL7611, ICL7612

Electrical Specifications $V_{S\text{UPPLY}} = \pm 5\text{V}$, Unless Otherwise Specified (Continued)

PARAMETER	SYMBOL	TEST CONDITIONS	TEMP (°C)	ICL7611B, ICL7612B			ICL7611D, ICL7612D			UNITS
				MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	
Unity Gain Bandwidth	GBW	$I_Q = 10\mu\text{A}$	25	-	0.044	-	-	0.044	-	MHz
		$I_Q = 100\mu\text{A}$	25	-	0.48	-	-	0.48	-	MHz
		$I_Q = 1\text{mA}$	25	-	1.4	-	-	1.4	-	MHz
Input Resistance	R_{IN}		25	-	10^{12}	-	-	10^{12}	-	Ω
Common Mode Rejection Ratio	CMRR	$R_S \leq 100\text{k}\Omega$, $I_Q = 10\mu\text{A}$	25	70	96	-	70	96	-	dB
		$R_S \leq 100\text{k}\Omega$, $I_Q = 100\mu\text{A}$	25	70	91	-	70	91	-	dB
		$R_S \leq 100\text{k}\Omega$, $I_Q = 1\text{mA}$	25	60	87	-	60	87	-	dB
Power Supply Rejection Ratio ($V_{S\text{UPPLY}} = \pm 8\text{V}$ to $\pm 2\text{V}$)	PSRR	$R_S \leq 100\text{k}\Omega$, $I_Q = 10\mu\text{A}$	25	80	94	-	80	94	-	dB
		$R_S \leq 100\text{k}\Omega$, $I_Q = 100\mu\text{A}$	25	80	86	-	80	86	-	dB
		$R_S \leq 100\text{k}\Omega$, $I_Q = 1\text{mA}$	25	70	77	-	70	77	-	dB
Input Referred Noise Voltage	e_N	$R_S = 100\Omega$, $f = 1\text{kHz}$	25	-	100	-	-	100	-	$\text{nV}/\sqrt{\text{Hz}}$
Input Referred Noise Current	i_N	$R_S = 100\Omega$, $f = 1\text{kHz}$	25	-	0.01	-	-	0.01	-	$\text{pA}/\sqrt{\text{Hz}}$
Supply Current (No Signal, No Load)	$I_{S\text{UPPLY}}$	$I_Q \text{ SET} = +5\text{V}$, Low Bias	25	-	0.01	0.02	-	0.01	0.02	mA
		$I_Q \text{ SET} = 0\text{V}$, Medium Bias	25	-	0.1	0.25	-	0.1	0.25	mA
		$I_Q \text{ SET} = -5\text{V}$, High Bias	25	-	1.0	2.5	-	1.0	2.5	mA
Channel Separation	V_{O1}/V_{O2}	$A_V = 100$	25	-	120	-	-	120	-	dB
Slew Rate ($A_V = 1$, $C_L = 100\text{pF}$, $V_{IN} = 8V_{P-P}$)	SR	$I_Q = 10\mu\text{A}$, $R_L = 1\text{M}\Omega$	25	-	0.016	-	-	0.016	-	$\text{V}/\mu\text{s}$
		$I_Q = 100\mu\text{A}$, $R_L = 100\text{k}\Omega$	25	-	0.16	-	-	0.16	-	$\text{V}/\mu\text{s}$
		$I_Q = 1\text{mA}$, $R_L = 10\text{k}\Omega$	25	-	1.6	-	-	1.6	-	$\text{V}/\mu\text{s}$
Rise Time ($V_{IN} = 50\text{mV}$, $C_L = 100\text{pF}$)	t_r	$I_Q = 10\mu\text{A}$, $R_L = 1\text{M}\Omega$	25	-	20	-	-	20	-	μs
		$I_Q = 100\mu\text{A}$, $R_L = 100\text{k}\Omega$	25	-	2	-	-	2	-	μs
		$I_Q = 1\text{mA}$, $R_L = 10\text{k}\Omega$	25	-	0.9	-	-	0.9	-	μs
Overshoot Factor ($V_{IN} = 50\text{mV}$, $C_L = 100\text{pF}$)	OS	$I_Q = 10\mu\text{A}$, $R_L = 1\text{M}\Omega$	25	-	5	-	-	5	-	%
		$I_Q = 100\mu\text{A}$, $R_L = 100\text{k}\Omega$	25	-	10	-	-	10	-	%
		$I_Q = 1\text{mA}$, $R_L = 10\text{k}\Omega$	25	-	40	-	-	40	-	%

Electrical Specifications $V_{S\text{UPPLY}} = \pm 1\text{V}$, $I_Q = 10\mu\text{A}$, Unless Otherwise Specified

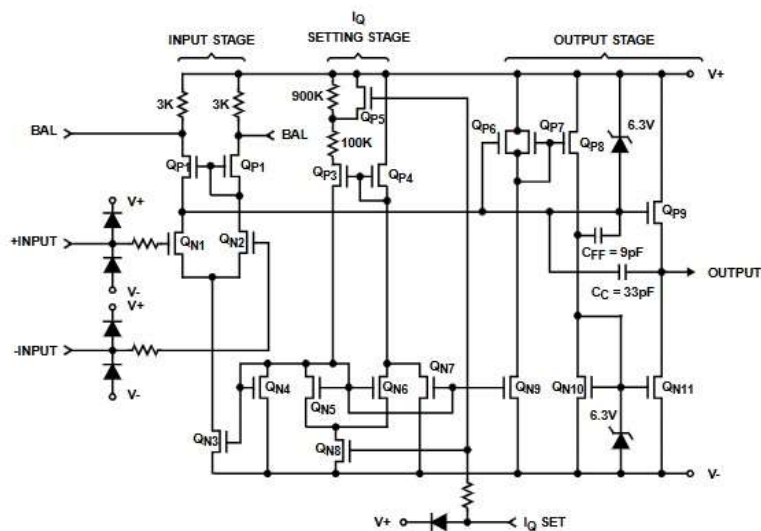
PARAMETER	SYMBOL	TEST CONDITIONS	TEMP (°C)	ICL7611B, ICL7612B			UNITS
				MIN	TYP	MAX	
Input Offset Voltage	V_{OS}	$R_S \leq 100\text{k}\Omega$	25	-	-	5	mV
			Full	-	-	7	mV
Temperature Coefficient of V_{OS}	$\Delta V_{OS}/\Delta T$	$R_S \leq 100\text{k}\Omega$	-	-	15	-	$\mu\text{V}/^\circ\text{C}$
Input Offset Current	I_{OS}		25	-	0.5	30	pA
			Full	-	-	300	pA
Input Bias Current	I_{BIAS}		25	-	1.0	50	pA
			Full	-	-	500	pA
Common Mode Voltage Range (Except ICL7612)	V_{CMR}		25	± 0.6	-	-	V

ICL7611, ICL7612

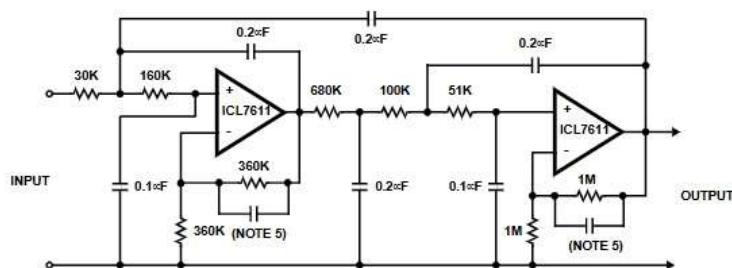
Electrical Specifications $V_{S\text{SUPPLY}} = \pm 1\text{V}$, $I_Q = 10\mu\text{A}$, Unless Otherwise Specified (Continued)

PARAMETER	SYMBOL	TEST CONDITIONS	TEMP (°C)	ICL7611B, ICL7612B			UNITS
				MIN	TYP	MAX	
Extended Common Mode Voltage Range (ICL7612 Only)	V_{CMR}		25	+0.6 to -1.1	-	-	V
Output Voltage Swing	V_{OUT}	$R_L = 1\text{M}\Omega$	25	± 0.98	-	-	V
			Full	± 0.96	-	-	V
Large Signal Voltage Gain	A_{VOL}	$V_O = \pm 0.1\text{V}$, $R_L = 1\text{M}\Omega$	25	-	90	-	dB
			Full	-	80	-	dB
Unity Gain Bandwidth	GBW		25	-	0.044	-	MHz
Input Resistance	R_{IN}		25	-	10^{12}	-	Ω
Common Mode Rejection Ratio	CMRR	$R_S \leq 100\text{k}\Omega$	25	-	80	-	dB
Power Supply Rejection Ratio	PSRR	$R_S \leq 100\text{k}\Omega$	25	-	80	-	dB
Input Referred Noise Voltage	e_N	$R_S = 100\Omega$, $f = 1\text{kHz}$	25	-	100	-	$\text{nV}/\sqrt{\text{Hz}}$
Input Referred Noise Current	i_N	$R_S = 100\Omega$, $f = 1\text{kHz}$	25	-	0.01	-	$\text{pA}/\sqrt{\text{Hz}}$
Supply Current	I_{SUPPLY}	No Signal, No Load	25	-	6	15	μA
Slew Rate	SR	$A_V = 1$, $C_L = 100\text{pF}$, $V_{\text{IN}} = 0.2V_{\text{P.P.}}$, $R_L = 1\text{M}\Omega$	25	-	0.016	-	$\text{V}/\mu\text{s}$
Rise Time	t_r	$V_{\text{IN}} = 50\text{mV}$, $C_L = 100\text{pF}$, $R_L = 1\text{M}\Omega$	25	-	20	-	μs
Overshoot Factor	OS	$V_{\text{IN}} = 50\text{mV}$, $C_L = 100\text{pF}$, $R_L = 1\text{M}\Omega$	25	-	5	-	%

Schematic Diagram



ICL7611, ICL7612



NOTES:

5. Note that small capacitors (25pF to 50pF) may be needed for stability in some cases.
6. The low bias currents permit high resistance and low capacitance values to be used to achieve low frequency cutoff. $f_C = 10\text{Hz}$, $A_{VCL} = 4$, Passband ripple = 0.1dB.

FIGURE 8. FIFTH ORDER CHEBYCHEV MULTIPLE FEEDBACK LOW PASS FILTER

Typical Performance Curves

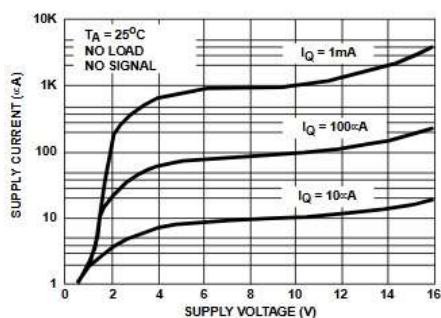


FIGURE 9. SUPPLY CURRENT PER AMPLIFIER vs SUPPLY VOLTAGE

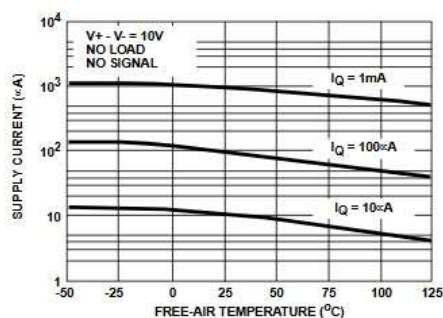


FIGURE 10. SUPPLY CURRENT PER AMPLIFIER vs FREE-AIR TEMPERATURE

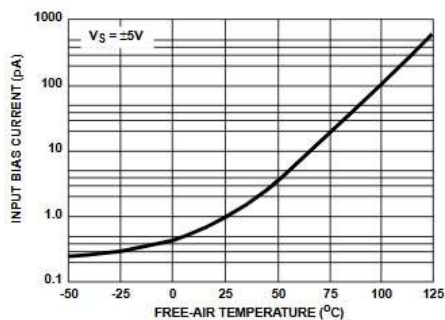


FIGURE 11. INPUT BIAS CURRENT vs TEMPERATURE

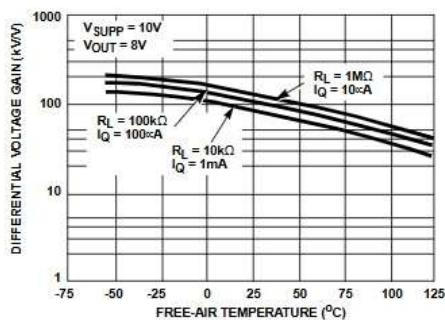


FIGURE 12. LARGE SIGNAL DIFFERENTIAL VOLTAGE GAIN vs FREE-AIR TEMPERATURE

**ANALOG
DEVICES****Single-Lead, Heart Rate Monitor Front End**

Data Sheet

AD8232**FEATURES**

Fully integrated single-lead ECG front end
 Low supply current: 170 μ A (typical)
 Common-mode rejection ratio: 80 dB (dc to 60 Hz)
 Two or three electrode configurations
 High signal gain ($G = 100$) with dc blocking capabilities
 2-pole adjustable high-pass filter
 Accepts up to ± 300 mV of half cell potential
 Fast restore feature improves filter settling
 Uncommitted op amp
 3-pole adjustable low-pass filter with adjustable gain
 Leads off detection: ac or dc options
 Integrated right leg drive (RLD) amplifier
 Single-supply operation: 2.0 V to 3.5 V
 Integrated reference buffer generates virtual ground
 Rail-to-rail output
 Internal RFI filter
 8 kV HBM ESD rating
 Shutdown pin
 20-lead, 4 mm $\times$ 4 mm LFCSP and LFCSP_SS package
 Qualified for automotive applications

APPLICATIONS

Fitness and activity heart rate monitors
 Portable ECG
 Remote health monitors
 Gaming peripherals
 Biopotential signal acquisition

GENERAL DESCRIPTION

The AD8232 is an integrated signal conditioning block for ECG and other biopotential measurement applications. It is designed to extract, amplify, and filter small biopotential signals in the presence of noisy conditions, such as those created by motion or remote electrode placement. This design allows for an ultralow power analog-to-digital converter (ADC) or an embedded microcontroller to acquire the output signal easily.

The AD8232 can implement a two-pole high-pass filter for eliminating motion artifacts and the electrode half-cell potential. This filter is tightly coupled with the instrumentation architecture of the amplifier to allow both large gain and high-pass filtering in a single stage, thereby saving space and cost.

An uncommitted operational amplifier enables the AD8232 to create a three-pole low-pass filter to remove additional noise. The user can select the frequency cutoff of all filters to suit different types of applications.

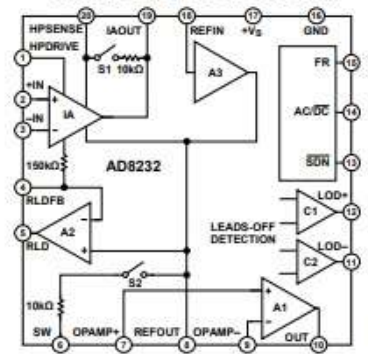
FUNCTIONAL BLOCK DIAGRAM

Figure 1.

To improve common-mode rejection of the line frequencies in the system and other undesired interferences, the AD8232 includes an amplifier for driven lead applications, such as right leg drive (RLD).

The AD8232 includes a fast restore function that reduces the duration of otherwise long settling tails of the high-pass filters. After an abrupt signal change that rails the amplifier (such as a leads off condition), the AD8232 automatically adjusts to a higher filter cutoff. This feature allows the AD8232 to recover quickly, and therefore, to take valid measurements soon after connecting the electrodes to the subject.

The AD8232 is available in a 4 mm $\times$ 4 mm, 20-lead LFCSP and a LFCSP_SS package. Performance for the A grade models is specified from 0°C to 70°C and the models are operational from -40°C to +85°C. Performance for the W grade models is specified over the automotive temperature range of -40°C to +105°C.

Rev. D

Document Feedback

Information furnished by Analog Devices is believed to be accurate and reliable. However, no responsibility is assumed by Analog Devices for its use, nor for any infringements of patents or other rights of third parties that may result from its use. Specifications subject to change without notice. No license is granted by implication or otherwise under any patent or patent rights of Analog Devices. Trademarks and registered trademarks are the property of their respective owners.

One Technology Way, P.O. Box 9106, Norwood, MA 02062-9106, U.S.A.
 Tel: 781.329.4700 ©2012–2020 Analog Devices, Inc. All rights reserved.
 Technical Support www.analog.com

SPECIFICATIONS

$V_S = 3\text{ V}$, $V_{REF} = 1.5\text{ V}$, $V_{CM} = 1.5\text{ V}$, $T_A = 25^\circ\text{C}$, operating temperature (T_{OPR}) = -40°C to $+105^\circ\text{C}$ for the W grade, FR = low, SDN = high, and AC/DC – low, unless otherwise noted.

Table 1.

Parameter	Symbol	Test Conditions/ Comments	A Grade			W Grade			Unit
			Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
INSTRUMENTATION AMPLIFIER									
Common-Mode Rejection Ratio, DC to 60 Hz	CMRR	$V_{CM} = 0.35\text{ V to }2.85\text{ V}$, $V_{REF} = 0\text{ V}$	80	86					dB
		T_{OPR}				80			dB
		$V_{CM} = 0.35\text{ V to }2.85\text{ V}$, $V_{REF} = \pm 0.3\text{ V}$		80			80		dB
Power Supply Rejection Ratio	PSRR	$V_S = 2.0\text{ V to }3.5\text{ V}$	76	90					dB
		T_{OPR}				76	90		dB
Offset Voltage (RTI)	V_{OS}								mV
Instrumentation Amplifier Inputs			3	8					mV
DC Blocking Input ¹		T_{OPR}		5	50		3	8	mV
Average Offset Drift							5	50	μV
Instrumentation Amplifier Inputs				10					$\mu\text{V}/^\circ\text{C}$
DC Blocking Input ¹		T_{OPR}					10		$\mu\text{V}/^\circ\text{C}$
Input Bias Current	I_b		50	200		50	200		pA
		$T_A = 0^\circ\text{C to }70^\circ\text{C}$	1						nA
Input Offset Current	I_{OS}	T_{OPR}					3.75		nA
			25	100		25	100		pA
		$T_A = 0^\circ\text{C to }70^\circ\text{C}$	1						nA
T_{OPR}						1		nA	
Input Impedance									
Differential				10 7.5			10 7.5		G pF
Common Mode				5 15			5 15		G pF
Input Voltage Noise (RTI)									
Spectral Noise Density		$f = 1\text{ kHz}$		100			100		$\text{nV}/\sqrt{\text{Hz}}$
Peak-to-Peak Voltage Noise		$f = 0.1\text{ Hz to }10\text{ Hz}$		12			12		$\mu\text{V p-p}$
		$f = 0.5\text{ Hz to }40\text{ Hz}$		14			14		$\mu\text{V p-p}$
Input Voltage Range	V_{REF}	$T_A = 0^\circ\text{C to }70^\circ\text{C}$	0.2	$+V_S$					V
		T_{OPR}				0.2	$+V_S$		V
			-300	+300		-300	+300		mV
DC Differential Input Range		T_{OPR}							mV
Output									
Output Swing		$R_L = 50\text{ k}\Omega$	0.1	$+V_S - 0.1$					V
		T_{OPR}				0.1	$+V_S - 0.1$		V
Short-Circuit Current	I_{OUT}			6.3			6.3		mA
Gain	A_V			100			100		V/V
Gain Error		$V_{REF} = 0\text{ V}$		0.4			0.4		%
		$V_{REF} = -300\text{ mV to }+300\text{ mV}$		1	3.5			3.5	%
		T_{OPR}						7.9	%
Average Gain Drift			$T_A = 0^\circ\text{C to }70^\circ\text{C}$		12				$\text{ppm}/^\circ\text{C}$
		T_{OPR}				12		$\text{ppm}/^\circ\text{C}$	
Bandwidth	BW			2			2		kHz
RFI Filter Cutoff (Each Input)				1			1		MHz

Parameter	Symbol	Test Conditions/ Comments	A Grade			W Grade			Unit
			Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
OPERATIONAL AMPLIFIER (A1)									
Offset Voltage	V_{OS}	T_{OSR}		1	5		1	5	mV
Average TC		$T_A = 0^{\circ}\text{C}$ to 70°C		5					mV/ $^{\circ}\text{C}$
Input Bias Current	I_b	T_{OSR}		100			5		$\mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$
		$T_A = 0^{\circ}\text{C}$ to 70°C		1			100		pA
Input Offset Current	I_{OS}	T_{OSR}		100			2.5		nA
		$T_A = 0^{\circ}\text{C}$ to 70°C		1			100		nA
Input Voltage Range		T_{OSR}	0.1		$+V_S - 0.1$	0.1		$+V_S - 0.1$	V
Common-Mode Rejection Ratio	CMRR	$V_{CM} = 0.5\text{ V}$ to 2.5 V		100			100		dB
Power Supply Rejection Ratio	PSRR			100			100		dB
Large Signal Voltage Gain	A_{VO}			110			110		dB
Output Voltage Range		$R_L = 50\text{ k}\Omega$	0.1		$+V_S - 0.1$				V
		T_{OSR}				0.1		$+V_S - 0.1$	V
Short-Circuit Current Limit	I_{OUT}			12			12		mA
Gain Bandwidth Product	GBP			100			100		kHz
Slew Rate	SR			0.02			0.02		V/ μs
Voltage Noise Density (RTI)	e_n	$f = 1\text{ kHz}$		60			60		nV/ $\sqrt{\text{Hz}}$
Peak-to-Peak Voltage Noise (RTI)	e_{NPP}	$f = 0.1\text{ Hz}$ to 10 Hz		6			6		$\mu\text{V p-p}$
		$f = 0.5\text{ Hz}$ to 40 Hz		8			8		$\mu\text{V p-p}$
RIGHT LEG DRIVE AMPLIFIER (A2)									
Output Swing		$R_L = 50\text{ k}\Omega$	0.1		$+V_S - 0.1$	0.1		$+V_S - 0.1$	V
Short-Circuit Current	I_{OUT}			11			11		mA
Integrator Input Resistor			120	150	180	120	150	180	k Ω
Gain Bandwidth Product	GDP			100			100		kHz
REFERENCE BUFFER (A3)									
Offset Error	V_{OS}	$R_L > 50\text{ k}\Omega$		1			1		mV
Input Bias Current	I_b			100			100		pA
Short-Circuit Current Limit	I_{OUT}			12			12		mA
Voltage Range		$R_L = 50\text{ k}\Omega$	0.1		$+V_S - 0.7$				V
		T_{OSR}				0.1		$+V_S - 0.7$	V
DC LEADS OFF COMPARATORS									
Threshold Voltage				$+V_S - 0.5$			$+V_S - 0.5$		V
Hysteresis				60			60		mV
Propagation Delay				0.5			0.5		μs
AC LEADS OFF DETECTOR									
Square Wave Frequency	f_{AC}		50	100	175	50	100	175	kHz
Square Wave Amplitude	I_{AC}			200			200		nA p-p
Impedance Threshold		Between +IN and -IN	10	20		10	20		M Ω
Detection Delay				110			110		μs
FAST RESTORE CIRCUIT									
Switches		S1 and S2							
On Resistance	R_{ON}		8	10	12	8	10	12	k Ω
Off Leakage				100			100		pA
Window Comparator									
Threshold Voltage		From either rail		50			50		mV
Propagation Delay				2			2		μs
Switch Timing Characteristics									
Feedback Recovery Switch On Time	t_{OBF1}			110			110		ms
Filter Recovery Switch On Time	t_{OBF2}			55			55		ms
Fast Restore Reset	t_{SRT}			2			2		μs

*ALL SWITCHES SHOWN IN DC LEADS-OFF DETECTION POSITION AND FAST RESTORE DISABLED
 1 = REFOUT

Figure 45. Simplified Schematic Diagram

The AD8232 is an integrated front end for signal conditioning of cardiac biopotentials for heart rate monitoring. It consists of a specialized instrumentation amplifier (IA), an operational amplifier (A1), a right leg drive amplifier (A2), and a midsupply reference buffer (A3). In addition, the AD8232 includes leads off detection circuitry and an automatic fast restore circuit that brings back the signal shortly after leads are reconnected.

INSTRUMENTATION AMPLIFIER

The feedback of the amplifier is applied via GM2 through two separate paths: the two resistors divide the output signal to set an overall gain of 100, whereas the dc blocking amplifier integrates any deviation from the reference level. Consequently, dc offsets as large as ± 300 mV across the GM1 inputs appear inverted and with the same magnitude across the inputs of GM2, all without saturating the signal of interest.

OPERATIONAL AMPLIFIER

This general-purpose operational amplifier (A1) is a rail-to-rail device that can be used for low-pass filtering and to add additional gain. The following sections provide details and example circuits that use this amplifier.

APDS-9008
Miniature Surface-Mount Ambient Light Photo Sensor



Data Sheet



Description

The APDS-9008 is a low cost analog-output ambient light photo sensor in miniature chipLED lead-free surface mount package. It consists of a spectrally suited photo sensor, which provides excellent responsivity that is close to the response of the human eyes, as show in figure 2. The APDS-9008 is ideal for applications in which the measurement of ambient light is used to control display backlighting. Mobile appliances such as the mobile phones and PDAs that draw heavy current from display backlighting will benefit from incorporating these photo sensor products in their designs by reducing power consumption significantly.

Application Support Information

The Application Engineering Group is available to assist you with the application design associated with APDS-9008 ambient light photo sensor module. You can contact them through your local sales representatives for additional details.

Features

- Excellent responsivity
 - Close responsivity to the human eye
- Miniature ChipLED Leadfree surface-mount package
 - Height – 0.55 mm
 - Width – 1.60 mm
 - Depth – 1.50 mm
- Low sensitivity variation across various light sources
- Operating temperature : -40°C to 85°C
- Vcc supply 1.6 to 5.5V
- Lead-free package, RoHS compliance
- Output linearity across wide illumination range
- High output saturation voltage

Applications

- Detection of ambient light to control display backlighting
 - Mobile devices – Mobile phones, PDAs
 - Computing devices – Notebooks, Webpads
 - Consumer devices – TVs, Video Cameras, Digital Still Camera
- Automatic Residential and Commercial Lighting Management
- Electronic Signs and Signals

Ordering Information

Part Number	Packaging Type	Package	Quantity
APDS-9008-020	Tape and Reel	6-pins Chiipled package	2500

Typical Application Circuit

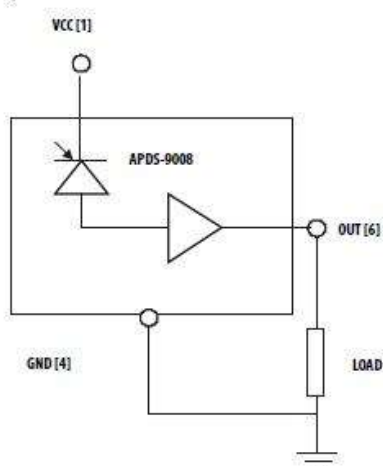


Figure 1. Typical application circuit for APDS-9008

I/O Pins Configuration Table

Pin	Symbol	Description
1	VCC	VCC
2	NC	No Connect
3	NC	No Connect
4	GND	Ground
5	NC	No Connect
6	Iout	Out

Absolute Maximum Ratings

For implementations where case to ambient thermal resistance is $\leq 50\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{W}$

Parameter	Symbol	Min.	Max.	Units
Storage Temperature	T_s	-40	85	$^{\circ}\text{C}$
Supply Voltage	V_{CC}	0	6	V

Recommended Operating Conditions

Parameter	Symbol	Min.	Max.	Units	Conditions
Operating Temperature	T_A	-40	85	$^{\circ}\text{C}$	
Supply Voltage	V_{CC}	1.6	5.5	V	

CAUTION: It is advised that normal static precautions be taken in handling and assembly of this component to prevent damage and/or degradation which may be induced by ESD.

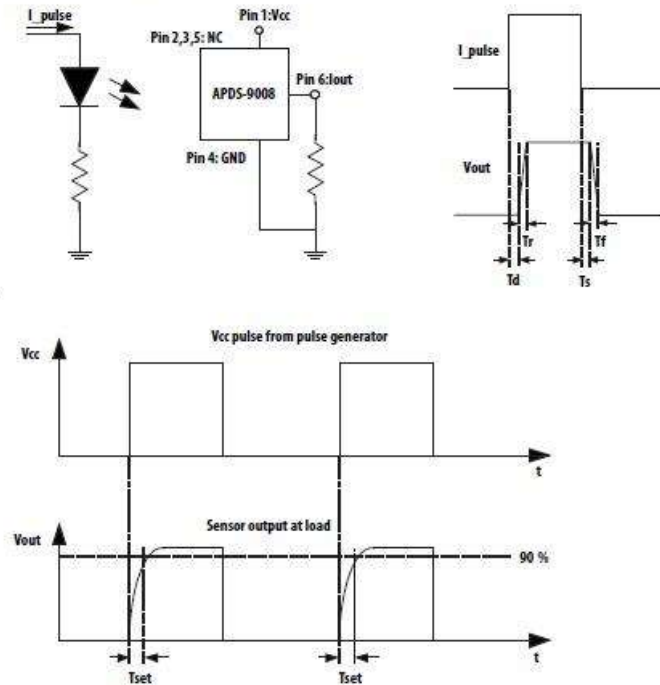
Electrical & Optical Specifications (Ta=25°C)

Parameter	Symbol	Min.	Typ.	Max.	Units	Conditions
Supply Current	ICC		42		μA	Vcc = 1.8V, Lux = 100 (2)
Photo Current (I)	I_PH1	28	40	52	μA	Vcc = 1.8V, Lux = 100 (2)
Photo Current (II)	I_PH2		44		μA	Vcc = 1.8V, Lux = 100 (1)
Dark Current	I_DARK		300		nA	Vcc = 1.8V, Lux = 0
Light Current Ratio	I_PH2/I_PH1		1.1			Incandescent light / Fluorescent light
Rise Time	Tr		5		ms	RI = 1Kohm, Lux = 100
Fall Time	Tf		5		ms	RI = 1Kohm, Lux=100
Settling Time	Tset		10		ms	RI=2.4Kohm,Lux=100
Peak sensitivity wavelength	λ		565		nm	
Propagation delay	Td		5		ms	RI = 1Kohm, Lux = 100
Storage delay	Ts		5		ms	RI = 1Kohm, Lux=100
Saturation voltage	Vsat	1.5			V	RI = 100Kohm, Lux = 100, Vcc=1.8V

Notes :

1. Illuminance by CIE standard light source (Incandescent lamp)
2. Fluorescence light is used as light source, however, white LED is substituted in a mass production process.

Light Measurement Circuit and Waveforms



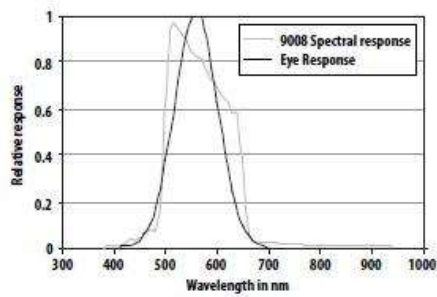


Figure 2. Relative Spectral Response Vs Wavelength

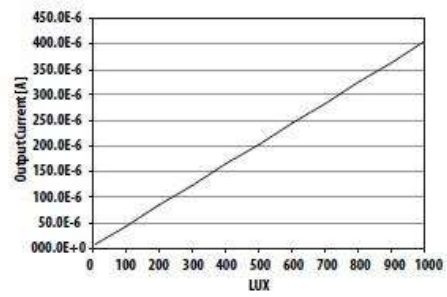


Figure 3. Average Iout Vs Lux (Vcc=1.8v, T=25°C, White LED source)

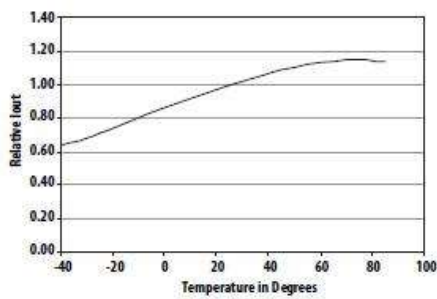


Figure 4. Relative Iout Vs Temp (Vcc=1.8v, 100 Lux)

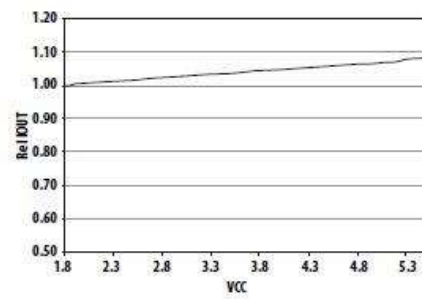


Figure 5. Relative Iout Vs Vcc (T=25°C, 100 Lux)

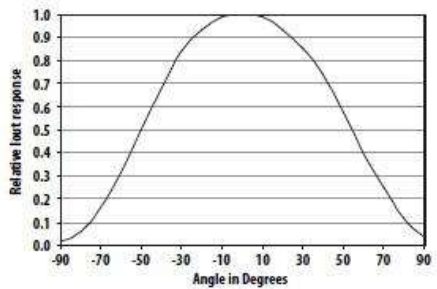


Figure 6. Relative Iout Vs Angle (Vcc=1.8v, T=25°C)

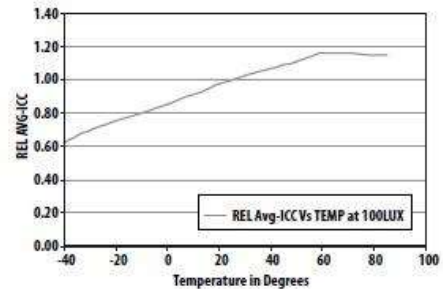


Figure 7. Relative Average Icc Vs Temp (Vcc=1.8v, T=25°C, 100 Lux)

SSD1306

Advance Information

128 x 64 Dot Matrix
OLED/PLED Segment/Common Driver with Controller

1 GENERAL DESCRIPTION

SSD1306 is a single-chip CMOS OLED/PLED driver with controller for organic / polymer light emitting diode dot-matrix graphic display system. It consists of 128 segments and 64 commons. This IC is designed for Common Cathode type OLED panel.

The SSD1306 embeds with contrast control, display RAM and oscillator, which reduces the number of external components and power consumption. It has 256-step brightness control. Data/Commands are sent from general MCU through the hardware selectable 6800/8000 series compatible Parallel Interface, I²C interface or Serial Peripheral Interface. It is suitable for many compact portable applications, such as mobile phone sub-display, MP3 player and calculator, etc.

2 FEATURES

- Resolution: 128 x 64 dot matrix panel
- Power supply
 - V_{DD} = 1.65V to 3.3V for IC logic
 - V_{CC} = 7V to 15V for Panel driving
- For matrix display
 - OLED driving output voltage, 15V maximum
 - Segment maximum source current: 100uA
 - Common maximum sink current: 15mA
 - 256 step contrast brightness current control
- Embedded 128 x 64 bit SRAM display buffer
- Pin selectable MCU Interfaces:
 - 8-bit 6800/8080-series parallel interface
 - 3 /4 wire Serial Peripheral Interface
 - I²C Interface
- Screen saving continuous scrolling function in both horizontal and vertical direction
- RAM write synchronization signal
- Programmable Frame Rate and Multiplexing Ratio
- Row Re-mapping and Column Re-mapping
- On-Chip Oscillator
- Chip layout for COG & COF
- Wide range of operating temperature: -40°C to 85°C

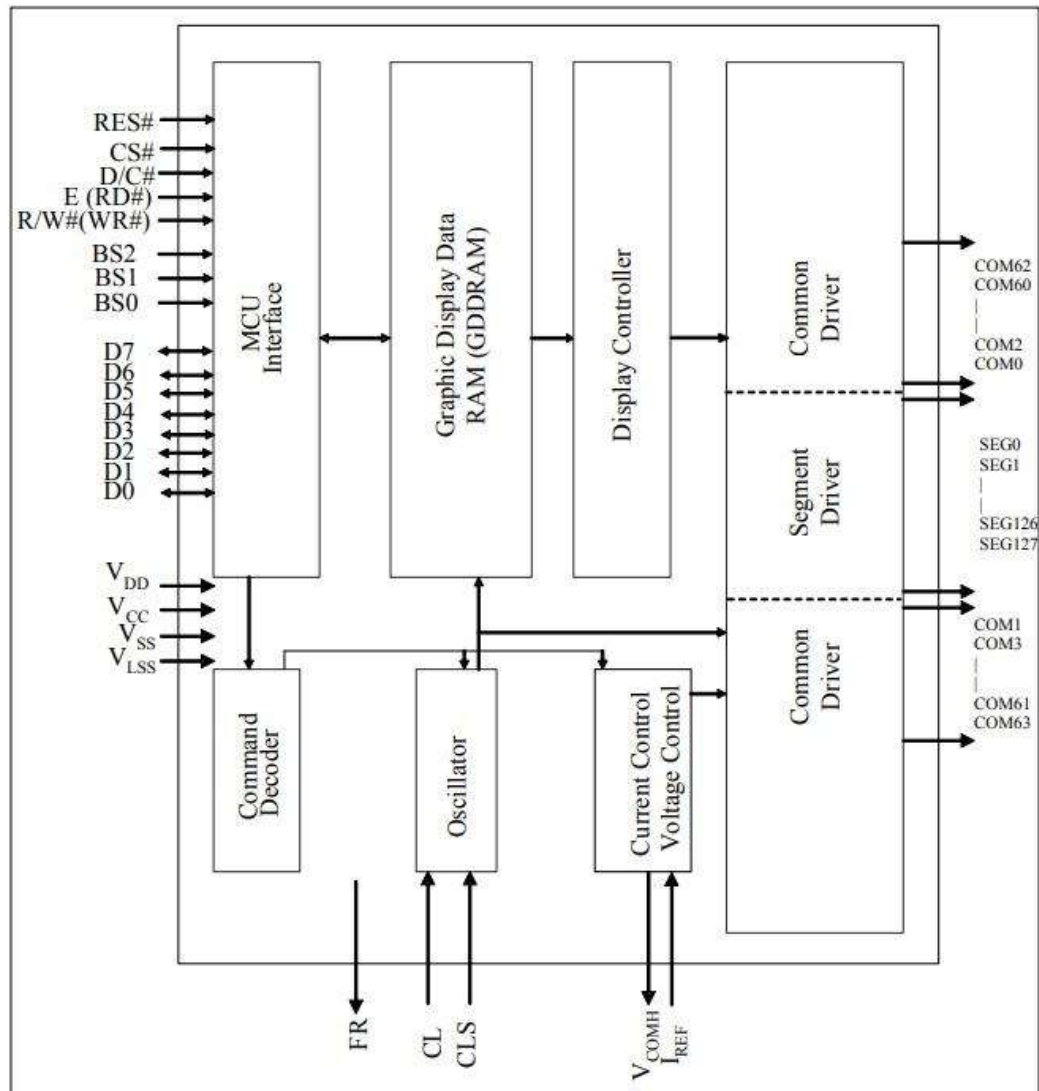
3 ORDERING INFORMATION

Table 3-1: Ordering Information

Ordering Part Number	SEG	COM	Package Form	Reference	Remark
SSD1306Z	128	64	COG	8	○ Min SEG pad pitch : 47um ○ Min COM pad pitch : 40um ○ Die thickness: 300 +/- 25um
SSD1306TR1	104	48	TAB	11, 56	○ 35mm film, 4 sprocket hole, Folding TAB ○ 8-bit 80 / 8-bit 68 / SPI / I²C interface ○ SEG, COM lead pitch 0.1mm x 0.997 = 0.0997mm ○ Die thickness: 457 +/- 25um

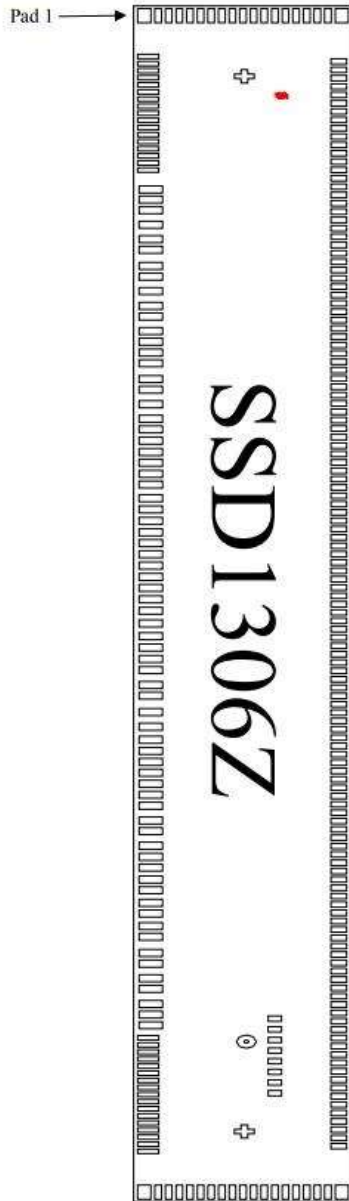
4 BLOCK DIAGRAM

Figure 4-1 SSD1306 Block Diagram



5 DIE PAD FLOOR PLAN

Figure 5-1 : SSD1306Z Die Drawing



Die size	6.76mm x 0.86mm
Die thickness	300 +/- 25um
Min I/O pad pitch	60um
Min SEG pad pitch	47um
Min COM pad pitch	40um
Bump height	Nominal 15um

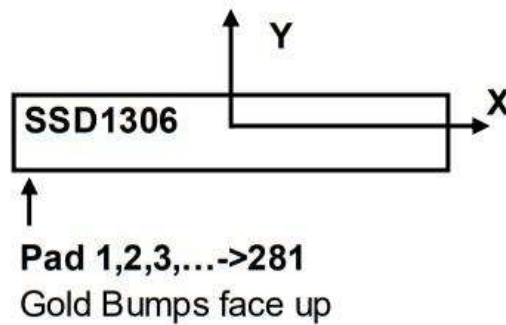
Bump size	
Pad 1, 106, 124, 256	80um x 50um
Pad 2-18, 89-105, 107-123, 257-273	25um x 80um
Pad 19-88	40um x 89um
Pad 125-255	31um x 59um
Pad 274-281 (TR pads)	30um x 50um

Alignment mark	Position	Size
+ shape	(-2973, 0)	75um x 75um
+ shape	(2973, 0)	75um x 75um
Circle	(2466.665, 7.575)	R37.5um, inner 18um
SSL Logo	(-2862.35, 144.82)	-

(For details dimension please see p.9)

Note

- (1) Diagram showing the Gold bumps face up.
- (2) Coordinates are referenced to center of the chip.
- (3) Coordinate units and size of all alignment marks are in um.
- (4) All alignment keys do not contain gold



7 PIN DESCRIPTION

Key:

I = Input	NC = Not Connected
O = Output	Pull LOW= connect to Ground
I/O = Bi-directional (input/output)	Pull HIGH= connect to V_{DD}
P = Power pin	

Figure 7-1 Pin Description

Pin Name	Type	Description
V_{DD}	P	Power supply pin for core logic operation.
V_{CC}	P	Power supply for panel driving voltage. This is also the most positive power voltage supply pin.
V_{SS}	P	This is a ground pin.
V_{LSS}	P	This is an analog ground pin. It should be connected to V_{SS} externally.
V_{COMH}	O	The pin for COM signal deselected voltage level. A capacitor should be connected between this pin and V_{SS} .
V_{BAT}	P	Reserved pin. It should be connected to V_{DD} .
BGGND	P	Reserved pin. It should be connected to ground.
C1P/C1N C2P/C2N	I	Reserved pin. It should be kept NC.
V_{BREF}	P	Reserved pin. It should be kept NC.
BS[2:0]	I	MCU bus interface selection pins. Please refer to Table 7-1 for the details of setting.
I_{REF}	I	This is segment output current reference pin. A resistor should be connected between this pin and V_{SS} to maintain the I_{REF} current at 12.5 μA . Please refer to Figure 8-15 for the details of resistor value.
FR	O	This pin outputs RAM write synchronization signal. Proper timing between MCU data writing and frame display timing can be achieved to prevent tearing effect. It should be kept NC if it is not used. Please refer to Section 8.4 for details usage.
CL	I	This is external clock input pin. When internal clock is enabled (i.e. HIGH in CLS pin), this pin is not used and should be connected to V_{SS} . When internal clock is disabled (i.e. LOW in CLS pin), this pin is the external clock source input pin.
CLS	I	This is internal clock enable pin. When it is pulled HIGH (i.e. connect to V_{DD}), internal clock is enabled. When it is pulled LOW, the internal clock is disabled; an external clock source must be connected to the CL pin for normal operation.
RES#	I	This pin is reset signal input. When the pin is pulled LOW, initialization of the chip is executed. Keep this pin HIGH (i.e. connect to V_{DD}) during normal operation.
CS#	I	This pin is the chip select input. (active LOW).

Pin Name	Type	Description
D/C#	I	This is Data/Command control pin. When it is pulled HIGH (i.e. connect to V_{DD}), the data at D[7:0] is treated as data. When it is pulled LOW, the data at D[7:0] will be transferred to the command register. In I ² C mode, this pin acts as SA0 for slave address selection. When 3-wire serial interface is selected, this pin must be connected to V_{SS} . For detail relationship to MCU interface signals, please refer to the Timing Characteristics Diagrams: Figure 13-1 to Figure 13-5 .
E (RD#)	I	When interfacing to a 6800-series microprocessor, this pin will be used as the Enable (E) signal. Read/write operation is initiated when this pin is pulled HIGH (i.e. connect to V_{DD}) and the chip is selected. When connecting to an 8080-series microprocessor, this pin receives the Read (RD#) signal. Read operation is initiated when this pin is pulled LOW and the chip is selected. When serial or I ² C interface is selected, this pin must be connected to V_{SS} .
R/W#(WR#)	I	This is read / write control input pin connecting to the MCU interface. When interfacing to a 6800-series microprocessor, this pin will be used as Read/Write (R/W#) selection input. Read mode will be carried out when this pin is pulled HIGH (i.e. connect to V_{DD}) and write mode when LOW. When 8080 interface mode is selected, this pin will be the Write (WR#) input. Data write operation is initiated when this pin is pulled LOW and the chip is selected. When serial or I ² C interface is selected, this pin must be connected to V_{SS} .
D[7:0]	IO	These are 8-bit bi-directional data bus to be connected to the microprocessor's data bus. When serial interface mode is selected, D0 will be the serial clock input: SCLK; D1 will be the serial data input: SDIN and D2 should be kept NC. When I ² C mode is selected, D2, D1 should be tied together and serve as SDA _{out} , SDA _{in} in application and D0 is the serial clock input, SCL.
TR0-TR6	-	Testing reserved pins. It should be kept NC.
SEG0 ~ SEG127	O	These pins provide Segment switch signals to OLED panel. These pins are V_{SS} state when display is OFF.
COM0 ~ COM63	O	These pins provide Common switch signals to OLED panel. They are in high impedance state when display is OFF.
NC	-	This is dummy pin. Do not group or short NC pins together.

Table 7-1 : MCU Bus Interface Pin Selection

SSD1306 Pin Name	I ² C Interface	6800-parallel interface (8 bit)	8080-parallel interface (8 bit)	4-wire Serial interface	3-wire Serial interface
BS0	0	0	0	0	1
BS1	1	0	1	0	0
BS2	0	1	1	0	0

Note

⁽¹⁾ 0 is connected to V_{SS}

⁽²⁾ 1 is connected to V_{DD}

9 COMMAND TABLE

Table 9-1: Command Table

(D/C#=0, R/W#(WR#)=0, E(RD#=1) unless specific setting is stated)

1. Fundamental Command Table											
D/C#	Hex	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0	Command	Description
0	81	1	0	0	0	0	0	0	1	Set Contrast Control	Double byte command to select 1 out of 256 contrast steps. Contrast increases as the value increases. (RESET = 7Fh)
0	A[7:0]	A ₇	A ₆	A ₅	A ₄	A ₃	A ₂	A ₁	A ₀		
0	A4/A5	1	0	1	0	0	1	0	X ₀	Entire Display ON	A4h, X ₀ =0b: Resume to RAM content display (RESET) Output follows RAM content A5h, X ₀ =1b: Entire display ON Output ignores RAM content
0	A6/A7	1	0	1	0	0	1	1	X ₀	Set Normal/Inverse Display	A6h, X[0]=0b: Normal display (RESET) 0 in RAM: OFF in display panel 1 in RAM: ON in display panel A7h, X[0]=1b: Inverse display 0 in RAM: ON in display panel 1 in RAM: OFF in display panel
0	AE AF	1	0	1	0	1	1	1	X ₀	Set Display ON/OFF	AEh, X[0]=0b:Display OFF (sleep mode) (RESET) AFh X[0]=1b:Display ON in normal mode

2. Scrolling Command Table																				
D/C#	Hex	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0	Command	Description									
0	26/27	0	0	1	0	0	1	1	X ₀	Continuous	26h, X[0]=0, Right Horizontal Scroll									
0	A[7:0]	0	0	0	0	0	0	0	0	Horizontal Scroll	27h, X[0]=1, Left Horizontal Scroll									
0	B[2:0]	*	*	*	*	*	B ₂	B ₁	B ₀	Setup	(Horizontal scroll by 1 column)									
0	C[2:0]	*	*	*	*	*	C ₂	C ₁	C ₀		A[7:0]: Dummy byte (Set as 00h)									
0	D[2:0]	*	*	*	*	*	D ₂	D ₁	D ₀		B[2:0]: Define start page address									
0	E[7:0]	0	0	0	0	0	0	0	0		<table><tr><td>000b – PAGE0</td><td>011b – PAGE3</td><td>110b – PAGE6</td></tr><tr><td>001b – PAGE1</td><td>100b – PAGE4</td><td>111b – PAGE7</td></tr></table>	000b – PAGE0	011b – PAGE3	110b – PAGE6	001b – PAGE1	100b – PAGE4	111b – PAGE7			
000b – PAGE0	011b – PAGE3	110b – PAGE6																		
001b – PAGE1	100b – PAGE4	111b – PAGE7																		
0	F[7:0]	1	1	1	1	1	1	1	1	<table><tr><td>010b – PAGE2</td><td>101b – PAGE5</td><td></td></tr></table>	010b – PAGE2	101b – PAGE5								
010b – PAGE2	101b – PAGE5																			
											C[2:0]: Set time interval between each scroll step in terms of frame frequency									
											<table><tr><td>000b – 5 frames</td><td>100b – 3 frames</td></tr><tr><td>001b – 64 frames</td><td>101b – 4 frames</td></tr><tr><td>010b – 128 frames</td><td>110b – 25 frame</td></tr><tr><td>011b – 256 frames</td><td>111b – 2 frame</td></tr></table>	000b – 5 frames	100b – 3 frames	001b – 64 frames	101b – 4 frames	010b – 128 frames	110b – 25 frame	011b – 256 frames	111b – 2 frame	
000b – 5 frames	100b – 3 frames																			
001b – 64 frames	101b – 4 frames																			
010b – 128 frames	110b – 25 frame																			
011b – 256 frames	111b – 2 frame																			
											D[2:0]: Define end page address									
											<table><tr><td>000b – PAGE0</td><td>011b – PAGE3</td><td>110b – PAGE6</td></tr><tr><td>001b – PAGE1</td><td>100b – PAGE4</td><td>111b – PAGE7</td></tr><tr><td>010b – PAGE2</td><td>101b – PAGE5</td><td></td></tr></table>	000b – PAGE0	011b – PAGE3	110b – PAGE6	001b – PAGE1	100b – PAGE4	111b – PAGE7	010b – PAGE2	101b – PAGE5	
000b – PAGE0	011b – PAGE3	110b – PAGE6																		
001b – PAGE1	100b – PAGE4	111b – PAGE7																		
010b – PAGE2	101b – PAGE5																			
											The value of D[2:0] must be larger or equal to B[2:0]									
											E[7:0]: Dummy byte (Set as 00h)									
											F[7:0]: Dummy byte (Set as FFh)									

2. Scrolling Command Table

D/C#	Hex	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0	Command	Description									
0	29/2A	0	0	1	0	1	0	X ₁	X ₀	Continuous	29h, X ₁ X ₀ =01b : Vertical and Right Horizontal Scroll									
0	A[2:0]	0	0	0	0	0	0	0	0	Vertical and	2Ah, X ₁ X ₀ =10b : Vertical and Left Horizontal Scroll									
0	B[2:0]	*	*	*	*	*	B ₂	B ₁	B ₀	Horizontal Scroll	(Horizontal scroll by 1 column)									
0	C[2:0]	*	*	*	*	*	C ₂	C ₁	C ₀	Setup	A[7:0] : Dummy byte									
0	D[2:0]	*	*	*	*	*	D ₂	D ₁	D ₀		B[2:0] : Define start page address									
0	E[5:0]	*	*	E ₅	E ₄	E ₃	E ₂	E ₁	E ₀		<table><tr><td>000b – PAGE0</td><td>011b – PAGE3</td><td>110b – PAGE6</td></tr><tr><td>001b – PAGE1</td><td>100b – PAGE4</td><td>111b – PAGE7</td></tr><tr><td>010b – PAGE2</td><td>101b – PAGE5</td><td></td></tr></table>	000b – PAGE0	011b – PAGE3	110b – PAGE6	001b – PAGE1	100b – PAGE4	111b – PAGE7	010b – PAGE2	101b – PAGE5	
000b – PAGE0	011b – PAGE3	110b – PAGE6																		
001b – PAGE1	100b – PAGE4	111b – PAGE7																		
010b – PAGE2	101b – PAGE5																			
											C[2:0] : Set time interval between each scroll step in terms of frame frequency									
											<table><tr><td>000b – 5 frames</td><td>100b – 3 frames</td></tr><tr><td>001b – 64 frames</td><td>101b – 4 frames</td></tr><tr><td>010b – 128 frames</td><td>110b – 25 frame</td></tr><tr><td>011b – 256 frames</td><td>111b – 2 frame</td></tr></table>	000b – 5 frames	100b – 3 frames	001b – 64 frames	101b – 4 frames	010b – 128 frames	110b – 25 frame	011b – 256 frames	111b – 2 frame	
000b – 5 frames	100b – 3 frames																			
001b – 64 frames	101b – 4 frames																			
010b – 128 frames	110b – 25 frame																			
011b – 256 frames	111b – 2 frame																			
											D[2:0] : Define end page address									
											<table><tr><td>000b – PAGE0</td><td>011b – PAGE3</td><td>110b – PAGE6</td></tr><tr><td>001b – PAGE1</td><td>100b – PAGE4</td><td>111b – PAGE7</td></tr><tr><td>010b – PAGE2</td><td>101b – PAGE5</td><td></td></tr></table>	000b – PAGE0	011b – PAGE3	110b – PAGE6	001b – PAGE1	100b – PAGE4	111b – PAGE7	010b – PAGE2	101b – PAGE5	
000b – PAGE0	011b – PAGE3	110b – PAGE6																		
001b – PAGE1	100b – PAGE4	111b – PAGE7																		
010b – PAGE2	101b – PAGE5																			
											The value of D[2:0] must be larger or equal to B[2:0]									
											E[5:0] : Vertical scrolling offset									
											e.g. E[5:0]=01h refer to offset =1 row									
											E[5:0]=3Fh refer to offset =63 rows									
											Note									
											¹⁾ No continuous vertical scrolling is available.									
0	2E	0	0	1	0	1	1	1	0	Deactivate scroll	Stop scrolling that is configured by command 26h/27h/29h/2Ah.									
											Note									
											¹⁾ After sending 2Eh command to deactivate the scrolling action, the ram data needs to be rewritten.									
0	2F	0	0	1	0	1	1	1	1	Activate scroll	Start scrolling that is configured by the scrolling setup commands :26h/27h/29h/2Ah with the following valid sequences:									
											Valid command sequence 1: 26h ;2Fh.									
											Valid command sequence 2: 27h ;2Fh.									
											Valid command sequence 3: 29h ;2Fh.									
											Valid command sequence 4: 2Ah ;2Fh.									
											For example, if “26h; 2Ah; 2Fh.” commands are issued, the setting in the last scrolling setup command, i.e. 2Ah in this case, will be executed. In other words, setting in the last scrolling setup command overwrites the setting in the previous scrolling setup commands.									

2. Scrolling Command Table										
D/C#	Hex	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0	Command
0	A3	1	0	1	0	0	0	1	1	Set Vertical Scroll Area
0	A[5:0]	*	*	A ₅	A ₄	A ₃	A ₂	A ₁	A ₀	
0	B[6:0]	*	B ₆	B ₅	B ₄	B ₃	B ₂	B ₁	B ₀	
										A[5:0] : Set No. of rows in top fixed area. The No. of rows in top fixed area is referenced to the top of the GDDRAM (i.e. row 0). [RESET = 0] B[6:0] : Set No. of rows in scroll area. This is the number of rows to be used for vertical scrolling. The scroll area starts in the first row below the top fixed area. [RESET = 64] Note ¹⁾ A[5:0]+B[6:0] ≤ MUX ratio ²⁾ B[6:0] ≤ MUX ratio ^{3a)} Vertical scrolling offset (E[5:0] in 29h/2Ah) < B[6:0] ^{3b)} Set Display Start Line (X₅X₄X₃X₂X₁X₀ of 40h~7Fh) < B[6:0] ⁴⁾ The last row of the scroll area shifts to the first row of the scroll area. ⁵⁾ For 64d MUX display A[5:0] = 0, B[6:0] = 64 : whole area scrolls A[5:0] = 0, B[6:0] < 64 : top area scrolls A[5:0] + B[6:0] < 64 : central area scrolls A[5:0] + B[6:0] = 64 : bottom area scrolls

3. Addressing Setting Command Table											
D/C#	Hex	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0	Command	Description
0	00~0F	0	0	0	0	X ₃	X ₂	X ₁	X ₀	Set Lower Column Start Address for Page Addressing Mode	Set the lower nibble of the column start address register for Page Addressing Mode using X[3:0] as data bits. The initial display line register is reset to 0000b after RESET. Note (1) This command is only for page addressing mode
0	10~1F	0	0	0	1	X ₃	X ₂	X ₁	X ₀	Set Higher Column Start Address for Page Addressing Mode	Set the higher nibble of the column start address register for Page Addressing Mode using X[3:0] as data bits. The initial display line register is reset to 0000b after RESET. Note (1) This command is only for page addressing mode
0 0	20 A[1:0]	0 *	0 *	1 *	0 *	0 *	0 *	0 A ₁	0 A ₀	Set Memory Addressing Mode	A[1:0] = 00b, Horizontal Addressing Mode A[1:0] = 01b, Vertical Addressing Mode A[1:0] = 10b, Page Addressing Mode (RESET) A[1:0] = 11b, Invalid
0 0 0	21 A[6:0] B[6:0]	0 * *	0 A ₆ B ₆	1 A ₅ B ₅	0 A ₄ B ₄	0 A ₃ B ₃	0 A ₂ B ₂	0 A ₁ B ₁	1 A ₀ B ₀	Set Column Address	Setup column start and end address A[6:0] : Column start address, range : 0-127d, (RESET=0d) B[6:0]: Column end address, range : 0-127d, (RESET=127d) Note (1) This command is only for horizontal or vertical addressing mode.

3. Addressing Setting Command Table											
D/C#	Hex	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0	Command	Description
0	22	0	0	1	0	0	0	1	0	Set Page Address	Setup page start and end address A[2:0] : Page start Address, range : 0-7d, (RESET = 0d) B[2:0] : Page end Address, range : 0-7d, (RESET = 7d) Note ⁽¹⁾ This command is only for horizontal or vertical addressing mode.
0	A[2:0]	*	*	*	*	*	*	A ₂	A ₁		A ₀
0	B[2:0]	*	*	*	*	*	*	B ₂	B ₁		B ₀
0	B0~B7	1	0	1	1	0	X ₂	X ₁	X ₀	Set Page Start Address for Page Addressing Mode	Set GDDRAM Page Start Address (PAGE0~PAGE7) for Page Addressing Mode using X[2:0]. Note ⁽¹⁾ This command is only for page addressing mode

4. Hardware Configuration (Panel resolution & layout related) Command Table											
D/C#	Hex	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0	Command	Description
0	40~7F	0	1	X ₅	X ₄	X ₃	X ₂	X ₁	X ₀	Set Display Start Line	Set display RAM display start line register from 0~63 using X ₅ X ₄ X ₃ X ₂ X ₁ X ₀ . Display start line register is reset to 000000b during RESET.
0	A0/A1	1	0	1	0	0	0	0	X ₀	Set Segment Re-map	A0h, X[0]=0b: column address 0 is mapped to SEG0 (RESET) A1h, X[0]=1b: column address 127 is mapped to SEG0
0 0	A8 A[5:0]	1 *	0 *	1 A ₅	0 A ₄	1 A ₃	0 A ₂	0 A ₁	0 A ₀	Set Multiplex Ratio	Set MUX ratio to N+1 MUX N=A[5:0] : from 16MUX to 64MUX, RESET= 111111b (i.e. 63d, 64MUX) A[5:0] from 0 to 14 are invalid entry.
0	C0/C8	1	1	0	0	X ₃	0	0	0	Set COM Output Scan Direction	C0h, X[3]=0b: normal mode (RESET) Scan from COM0 to COM[N-1] C8h, X[3]=1b: remapped mode. Scan from COM[N-1] to COM0 Where N is the Multiplex ratio.
0 0	D3 A[5:0]	1 *	1 *	0 A ₅	1 A ₄	0 A ₃	0 A ₂	1 A ₁	1 A ₀	Set Display Offset	Set vertical shift by COM from 0d~63d The value is reset to 00h after RESET.
0 0	DA A[5:4]	1 0	1 0	0 A ₅	1 A ₄	1 0	0 0	1 1	0 0	Set COM Pins Hardware Configuration	A[4]=0b, Sequential COM pin configuration A[4]=1b(RESET), Alternative COM pin configuration A[5]=0b(RESET), Disable COM Left/Right remap A[5]=1b, Enable COM Left/Right remap

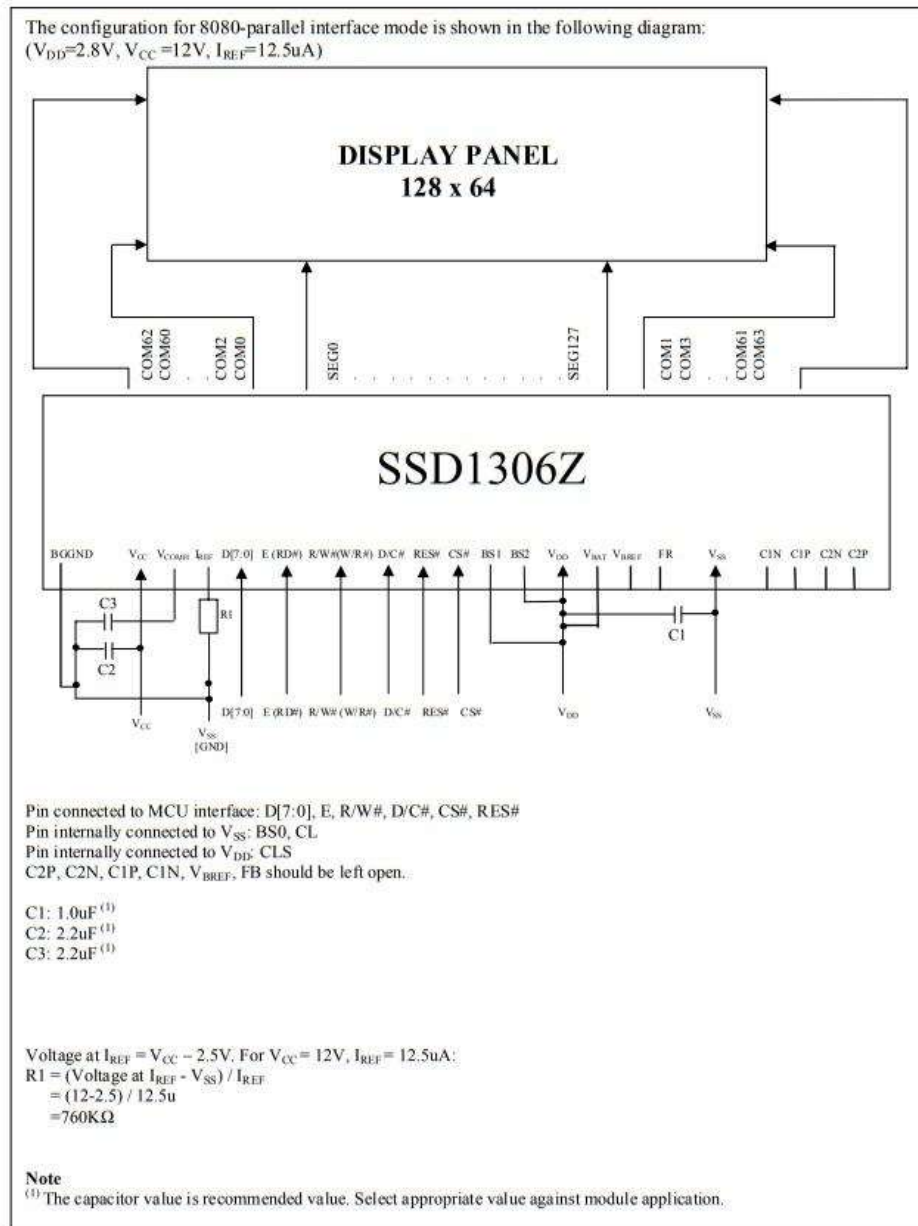
5. Timing & Driving Scheme Setting Command Table																							
D/C#	Hex	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0	Command	Description												
00	D5 A[7:0]	1 A ₇	1 A ₆	0 A ₅	1 A ₄	0 A ₃	1 A ₂	0 A ₁	1 A ₀	Set Display Clock Divide Ratio/Oscillator Frequency	A[3:0] : Define the divide ratio (D) of the display clocks (DCLK): Divide ratio= A[3:0] + 1, RESET is 0000b (divide ratio = 1) A[7:4] : Set the Oscillator Frequency, F_{OSC}. Oscillator Frequency increases with the value of A[7:4] and vice versa. RESET is 1000b Range:0000b~1111b Frequency increases as setting value increases.												
00	D9 A[7:0]	1 A ₇	1 A ₆	0 A ₅	1 A ₄	1 A ₃	0 A ₂	0 A ₁	1 A ₀	Set Pre-charge Period	A[3:0] : Phase 1 period of up to 15 DCLK clocks 0 is invalid entry (RESET=2h) A[7:4] : Phase 2 period of up to 15 DCLK clocks 0 is invalid entry (RESET=2h)												
00	DB A[6:4]	1 0	1 A ₆	0 A ₅	1 A ₄	1 0	0 0	1 0	1 0	Set V _{COMH} Deselect Level	<table><tr><th>A[6:4]</th><th>Hex code</th><th>V_{COMH} deselect level</th></tr><tr><td>000b</td><td>00h</td><td>~ 0.65 x V_{CC}</td></tr><tr><td>010b</td><td>20h</td><td>~ 0.77 x V_{CC} (RESET)</td></tr><tr><td>011b</td><td>30h</td><td>~ 0.83 x V_{CC}</td></tr></table>	A[6:4]	Hex code	V _{COMH} deselect level	000b	00h	~ 0.65 x V _{CC}	010b	20h	~ 0.77 x V _{CC} (RESET)	011b	30h	~ 0.83 x V _{CC}
A[6:4]	Hex code	V _{COMH} deselect level																					
000b	00h	~ 0.65 x V _{CC}																					
010b	20h	~ 0.77 x V _{CC} (RESET)																					
011b	30h	~ 0.83 x V _{CC}																					
00	E3	1	1	1	0	0	0	1	1	NOP	Command for no operation												

Note

(1) "*" stands for "Don't care".

14 Application Example

Figure 14-1 : Application Example of SSD1306Z



Apéndice D

Programa (Contador de pulsos cardiacos)

```
#include <Wire.h>

#include <Adafruit_GFX.h>
#include <Adafruit_SSD1306.h>

#define SCREEN_WIDTH 128
#define SCREEN_HEIGHT 64
#define OLED_RESET -1
#define SCREEN_ADDRESS 0x3C

Adafruit_SSD1306 display (SCREEN_WIDTH, SCREEN_HEIGHT, &Wire,
OLED_RESET);

const int sensorPin = A0;

const int ledPin = 13;

int threshold = 512;

int bpm = 0;

void setup() {
  Serial.begin(9600);

  pinMode(sensorPin, INPUT);
  pinMode(ledPin, OUTPUT);

  if (!display.begin(SSD1306_SWITCHCAPVCC, SCREEN_ADDRESS)) {
    Serial.println("Error en la pantalla OLED");
    for (;;)
  }

  display.clearDisplay();
  display.setTextSize(1);
```

```

display.setTextColor(SSD1306_WHITE);
display.setCursor(10, 10);
display.println("Coloca el sensor");
display.setCursor(15, 25);
display.println("en la mu\244eca.");
display.display();
delay (5000);
}

void loop() {
int sensorValue = analogRead(sensorPin);
if (sensorValue > threshold) {
digitalWrite(ledPin, HIGH);
delay (1000);
} else {
digitalWrite(ledPin, LOW);
delay (1000);
}

static unsigned long lastTime = 0;
static int pulseCount = 0;
unsigned long currentTime = millis();
if (sensorValue > threshold) {
if (currentTime - lastTime > 600) {
pulseCount++;
lastTime = currentTime;
}
}
}

```

```
}  
  
static unsigned long lastBPMTime = 0;  
if (currentTime - lastBPMTime >= 10000) {  
    bpm = pulseCount * 6;  
    pulseCount = 0;  
    lastBPMTime = currentTime;  
    Serial.print("Frecuencia cardíaca: ");  
    Serial.print(bpm);  
    Serial.println(" BPM");  
}  
  
display.clearDisplay();  
display.setTextSize(2);  
display.setCursor(35, 40);  
display.print("BPM: ");  
display.print(bpm);  
display.display();  
delay(10);
```