



Universidad
de La Laguna

Escuela Superior de
Ingeniería y Tecnología
Sección de Ingeniería Industrial

ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA
Y TECNOLOGÍA

Trabajo de Fin de Grado

**Diseño y fabricación de un shield tipo Arduino de la
etapa analógica de adaptación y filtrado de un
sistema de adquisición**

Titulación: Grado en Ingeniería Electrónica Industrial y
Automática

Alumno: Gustavo Alejandro Castaño González

Alumno: David Carmona Ballester

Tutor: Fernando Luis Rosa González

Tutor: José Carlos Sanluis Leal

7 de septiembre de 2015

**IMPRESO DE AUTORIZACIÓN DEL
TRABAJO DE FIN DE GRADO POR EL
TUTOR**

Curso 2014/2015

D.Fernando Luis Rosa González, con D.N.I.43611314–W, como tutor de los alumnos **D.David Carmona Ballester** y **D. Gustavo Alejandro Castaño González** en el Trabajo de Fin de Grado titulado **Diseño y fabricación de un shield tipo Arduino de la etapa analógica de adaptación y filtrado de un sistema de adquisición**

doy mi autorización, acreditada por la firma electrónica de este documento, para la presentación y defensa de dicho proyecto, a la vez que confirmo que los alumnos han cumplido con los objetivos generales y particulares que lleva consigo la realización del mismo.

La Laguna, a 7 de septiembre de 2015

**IMPRESO DE AUTORIZACIÓN DEL
TRABAJO DE FIN DE GRADO POR EL
TUTOR**

Curso 2014/2015

D. José Carlos Sanluis Leal, con D.N.I. **42181602-Q**, como tutor de los alumnos **D. David Carmona Ballester** y **D. Gustavo Alejandro Castaño González** en el Trabajo de Fin de Grado titulado **Diseño y fabricación de un shield tipo arduino de la etapa analógica de adaptación y filtrado de un sistema de adquisición**

doy mi autorización, acreditada por la firma electrónica de este documento, para la presentación y defensa de dicho proyecto, a la vez que confirmo que los alumnos han cumplido con los objetivos generales y particulares que lleva consigo la realización del mismo.

La Laguna, a 7 de septiembre de 2015

Agradecimientos

En primer lugar, queremos agradecer enormemente a nuestros tutores Fernando Luis Rosa González y Jose Carlos Sanluis Leal, por la infinita paciencia que han tenido, y porque en compañía de ellos hemos aprendido tanto a nivel académico como a nivel personal. También damos gracias a todos aquellos que de forma directa o indirecta han intervenido de desinteresadamente en el desarrollo de este proyecto.

Nos gustaría también agradecer a nuestras familias y amigos por su apoyo incondicional, ya que sin ellos, no habríamos llegado hasta aquí.

Parte I
Memoria



Universidad
de La Laguna

Escuela Superior de
Ingeniería y Tecnología
Sección de Ingeniería Industrial

ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA
Y TECNOLOGÍA

Trabajo de Fin de Grado

**Diseño y fabricación de un shield tipo arduino de la
etapa analógica de adaptación y filtrado de un
sistema de adquisición**

TOMO I

Memoria

Titulación:

Grado en Ingeniería Electrónica Industrial y Automática

Alumnos:

Gustavo Alejandro Castaño González
David Carmona Ballester

Tutores:

Fernando Luis Rosa González
José Carlos Sanluis Leal

7 de septiembre de 2015

Índice general

I Memoria	9
1. Introducción	23
1.1. Marco general	23
1.2. Objetivos del proyecto	25
1.3. Etapas del desarrollo	25
1.4. Estructura de esta memoria	25
2. Material y método	27
2.1. Software y hardware	27
2.2. Proceso de fabricación	29
2.2.1. El proceso de comprobación	30
3. Diseño del Prototipo	33
3.1. Requisitos del Prototipo	33
3.2. Diseño	33
3.2.1. Bloque de Filtrado	34
3.2.2. Bloque de Adaptación	35
3.3. Entradas, Salida y Alimentación	41
3.4. Modificaciones del diseño	43
4. Simulación	45
4.1. Adaptación de componentes para la simulación	45
4.2. Cálculo de valores de resistencias	46
4.3. Resultados de la simulación	47
5. Diseño y fabricación	51
5.1. Diseño de la PCB	51
5.1.1. Esquemático	51
5.1.2. Generación de huellas y configuración del sistema	51
5.1.3. Elementos del diseño de la PCB	53
5.2. Fabricación de la PCB	55

5.2.1.	Proceso de insolado, revelado y atacado de la PCB	55
5.2.2.	Proceso de soldado de componentes	57
6.	Ensayos y Comprobaciones	59
6.1.	Selección de frecuencias del filtro antialiasing	59
6.2.	Comprobación de Funcionamiento del Prototipo	59
6.3.	Comparación de ganancia teórica con la experimental	62
6.3.1.	Cálculo de ganancias e incertidumbre	65
6.4.	Interpretación de los resultados obtenidos	65
6.5.	Mejoras del Prototipo	67
II	Pliego de condiciones y presupuesto	75
7.	Pliego de condiciones	79
8.	Presupuesto del proyecto	81
III	Anexos	83
Anexos		86
A.	Esquemáticos	87
A.1.	Esquemático Kicad	87
A.2.	Esquemático Simulación	89
A.3.	Layout	91
A.4.	Fotolito capa Top	93
A.5.	Fotolito capa Bottom	95
B.	Scripts	97
B.1.	Cálculo de resistencias de LTC1562 en simulación	97
B.1.1.	Output	97
B.2.	Código Arduino	99
C.	Tablas	103
C.1.	Tabla de componentes con huellas SMD	103
C.2.	Tabla de desviaciones	105
D.	Hojas de datos	113
D.1.	AD623	113
D.2.	AD5241	115

ÍNDICE GENERAL

15

D.3. LTC1564	117
D.4. ITC-6050	119
D.5. LTC6240	121
D.6. TPS76201	123

Índice de figuras

2.1. Tarjeta OLIMEX STM32-E407 para la que se realiza el diseño de este proyecto.	28
2.2. Tarjeta de desarrollo Arduino-Uno basada en el microcontrolador Arduino	29
3.1. Diagrama de bloques funcionales del Shield	34
3.2. Amplificador operacional en configuración inversora	35
3.3. Ganancia en función de la palabra digital	38
3.4. Esquema interno del AD623 facilitado por Analogic Devices	39
3.5. Configuración del TPS76201 con malla de resistencias facilitado por Texas Instruments y modificado para ajustarse al diseño	40
3.6. Respuesta en frecuencia del ITC6050 en circuito abierto facilitado por International Transducer Corporation	42
3.7. Esquema de funcionamiento del bus I2C extraído del datasheet del AD5241 de <i>Analogic Devices</i>	43
4.1. Esquemático de la simulación	45
4.2. LTC1562 en configuración de Butterworth de 8° orden facilitado por Linear Technologies	46
4.3. Ecuaciones para el cálculo de los valores de R del filtro obtenido del datasheet del LTC1562 del fabricante Linear Technologies	47
4.4. Señal de entrada al circuito	48
4.5. Señal a la salida del filtro	48
4.6. Señal a la salida del partidor de tensión	48
4.7. Señal de salida del circuito	49
4.8. Valor inferior de V_{OUT}	49
4.9. Valor superior de V_{OUT}	50
5.1. Footprint de AD623	52
5.2. Capa TOP de la placa	54
5.3. Capa BOTTOM de la placa	55

5.4.	Perfil de soldadura del T962 de Puhui Technology	57
5.5.	Placa terminada	58
6.1.	Relación de frecuencias de corte con palabra digital del filtro anti-aliasing	60
6.2.	Arriba: Señal de entrada, un tono de 50KHz. Abajo: Señal triangular a la salida del sistema. La escala vertical del osciloscopio es de 1V/div.	62
6.3.	Arriba: Señal a la entrada. Abajo: Señal a la salida del filtro LTC1564. La escala vertical del osciloscopio es de 0,1V/div.	63
6.4.	Arriba: Señal a la entrada. Abajo: Señal a la salida del amplificador inversor LTC6240. La escala vertical del osciloscopio es de 0,1V/div.	63
6.5.	Señales de entrada y salida al amplificador de instrumentación AD623. Arriba: Señal a la entrada con la escala vertical del canal 1 del osciloscopio a 0,1V/div. Abajo: Señal a la salida con la escala vertical del canal 2 del osciloscopio a 1V/div.	64
6.6.	Comparación de la ganancia experimental frente a la teórica	66
A.1.	Esquemático realizado en Kicad	88
A.2.	Esquemático de la Simulación	90
A.3.	Layout obtenido de Kicad	92
A.4.	Fotolito empleado para insolar la capa Top	94
A.5.	Fotolito empleado para insolar la capa Bottom	96

Resumen

En este Trabajo de Fin de grado se ha diseñado un shield tipo Arduino que permita adecuar la señal mediante filtrado y acondicionamiento para poder adquirir muestras de esa señal a una tasa de 200 kmuestras/s. Para ello, se han usado componentes programables digitalmente, que permiten seleccionar la frecuencia de corte del filtro y la ganancia del sistema sin necesidad de acceder físicamente al dispositivo. El diseño se ha sometido a simulación y tras su fabricación se ha comprobado su funcionamiento mediante diferentes pruebas en el laboratorio.

Abstract

In this Final Project has been designed an Arduino shield that modify the signal by filtering and conditioning to acquire samples of that signal at a rate of 200 kS/s. To do this, we have used digitally programmable components, allowing the selection of the cutoff frequency and the system gain without having to physically access the device. The design has undergone simulation and after manufacturing operation has been verified by different laboratory tests.

Capítulo 1

Introducción

Identificar un individuo *Orcinus orca*, cetáceo perteneciente a la familia Delphinidae, mediante su espectro de frecuencias sonoras es una tarea difícil pero de gran importancia para la gestión de la conservación de estas especies. Muchos tipos de mamíferos, entre los que se encuentran estos animales, utilizan el sonido como medio de comunicación y como herramienta para el control de su habitat. La utilización del sonido para realizar esta tarea hace necesario comprender las ondas sonoras como ondas mecánicas longitudinales que se originan por el movimiento de alguna porción de un medio elástico (sólido, líquido o gaseoso) con respecto a su posición de equilibrio. Debido a las propiedades elásticas del medio, esta perturbación puede desplazarse de un lugar a otro. Los límites de audición de estos animales no es el mismo que para los humanos, entre 20 Hz y 20 KHz, sino que se extiende, como en otros mamíferos de gran tamaño hasta frecuencias de 60KHz o incluso más.

Desde hace algunos años la Universidad de La Laguna tiene una línea de investigación que trata de crear herramientas informáticas que permitan obtener parámetros para desentrañar la cultura vocal de *Orcinus Orca*. Una de esas herramientas se sitúa en la etapa de adquisición de las señales sonoras emitidas por las orcas.

1.1. Marco general

Este trabajo de fin de grado ha fijado sus objetivos dentro del marco del proyecto Creación de Herramientas Informáticas e Investigación de los Parámetros de Significación en la Cultura Vocal de *Orcinus Orca*. Durante estos años se ha creado un cuerpo teórico-práctico para ser aplicado a una mejor gestión de las poblaciones salvajes y a un mejor conocimiento de la población cautiva. La mejora del estado de conservación de esta especie y de otros pequeños cetáceos es una prioridad en el ámbito marino internacional.

Las herramientas que se han desarrollado se utilizan para la investigación bioacústica, y posibilitan la grabación, detección y clasificación de los sonidos emitidos por estos animales. En el trabajo de Laiolo en 2010 [2], se explica el papel que tiene la bioacústica como herramienta para la conservación de algunas especies. La bioacústica requiere el procesamiento de miles de vocalizaciones, lo que resulta penoso ya que requiere mucho tiempo si el tratamiento de los datos se realiza manualmente, haciendo prácticamente imposible su mantenimiento en el tiempo sin la adecuada automatización.

En la actualidad se realizan grabaciones continuas mediante un conjunto de hidrófonos situados de modo permanente en Orca Ocean, las instalaciones de Loro Parque en Tenerife. Diariamente se generan aproximadamente 19 Gbytes por hidrófono, haciendo imposible su almacenamiento continuo.

Esto planteó la necesidad de desarrollar técnicas de reducción de datos, objetivo que se ha conseguido parcialmente mediante la detección de eventos. Los métodos desarrollados alcanzan una precisión cercana al 80 %, lo que ha constituido un avance en el desarrollo de herramientas para el estudio bioacústico de esta especie y en general de cetáceos. Este tipo de método, por sí mismo, permite la elaboración de diagramas de monitorización de actividad, ya que posibilita obtener información estadística de la actividad acústica que se produce en las piscinas en un intervalo de tiempo, produciendo datos de interés para estudios de comportamiento animal. La actividad acústica se manifiesta en forma de eventos que no siempre son vocalizaciones, como pueden ser golpes de las compuertas, aleteos de los animales en la superficie del agua o algunos otros.

La creación de esta base de datos de eventos ha posibilitado la extracción de información etológica. Para poder obtener esta información por medio de la clasificación de los eventos junto con su etiqueta de tiempo, es conveniente utilizar herramientas de clasificación automática. Esta clasificación se hace con etiquetas de interés etológico además del etiquetado temporal. Una vez que sea posible clasificar los eventos de forma automática se podrá obtener una mayor reducción del espacio de almacenamiento, ya que solo se almacenarían aquellas etiquetas que correspondan a eventos de interés junto con sus marcas de tiempo. Esto permite la obtención de información detallada sobre la frecuencia de ocurrencia de los distintos eventos, así como la búsqueda de relaciones entre los distintos eventos, cuestiones que también serán abordables de forma automática.

En el momento de redacción de esta memoria el proyecto se encuentra en situación de abordar la adquisición de varias fuentes mediante una red denominada OrcaNet, en la que cada nodo envía a un servidor central los datos adquiridos para realizarse la detección y clasificación de los eventos. En fases posteriores los algoritmos desarrollados se implementarán en dispositivos electrónicos programables de bajo consumo y de dimensiones reducidas como son las FPGA, los DSP, o microcontroladores, para que puedan utilizarse en condiciones de mar abierto y

puedan proporcionar datos acerca de poblaciones de cetáceos en libertad, que son de gran interés para la gestión medioambiental, para la conservación y protección de estas especies.

1.2. Objetivos del proyecto

El objetivo del proyecto consiste en el desarrollo de un dispositivo que facilite la adquisición de señales y su procesamiento en el marco del proyecto *Creación de Herramientas Informáticas e Investigación de los Parámetros de Significación en la Cultura Vocal de Orcinus Orca*. Se enfatiza en la versatilidad del diseño de cara a una mayor adaptabilidad según las circunstancias que definan el medio, permitiendo sucesivas modificaciones poco agresivas con el sistema a corto y largo plazo.

Dicho diseño se basa en un sistema modular tipo shield de Arduino capaz de filtrar y adaptar una señal para ser muestreada y cuantificada a lo largo del tiempo. El objetivo de este sistema es adaptar cualquier tipo de señal proveniente del hidrófono, a un margen de tensión fija entre 0 y +3.3V. Dicho margen coincide con el margen de entrada del conversor analógico digital que se encuentra en la salida de nuestro diseño.

1.3. Etapas del desarrollo

Se comenzó analizando los requisitos del proyecto y planificando las etapas del desarrollo. En primer lugar se procedió a realizar un diseño y a la selección de los componentes necesarios. En una segunda etapa se simuló el funcionamiento del circuito. La siguiente etapa consistió en la fabricación de la placa, para ello primero se realizó un esquemático del diseño y luego se procedió a la fabricación del PCB. En una última etapa se realizaron pruebas sobre la placa, lo que permitió detectar malos funcionamientos e iterar corrigiéndolos sobre el diseño inicial.

1.4. Estructura de esta memoria

El documento¹ que se presenta a continuación se ha estructurado en tres partes: la memoria, el pliego de condiciones y presupuesto, y los anexos. La memoria, contiene la memoria del proyecto, que se expone comenzando con el diseño, para explicar en el siguiente capítulo la simulación de las distintas partes del circuito. Se explica posteriormente el esquemático y la fabricación de la placa, concluyendo con una comprobación de su funcionamiento. En la segunda parte se expone el pliego de condiciones, donde se recogen las normas y acciones que se llevaron a cabo para realizar el proyecto, y el presupuesto. En él se tabulan los precios de los componentes comprados y el costo total del proyecto. Por último, en la tercera y

¹Toda la documentación ha sido realizada por medio de L^AT_EX

última parte, se recoge en los anexos el soporte técnico a la información recogida en la memoria, bien sea por medio de tablas, gráficos, hoja de características o imágenes.

Capítulo 2

Material y método

2.1. Software y hardware

En este capítulo se concretan los aspectos de los métodos usados en el trabajo, así como las herramientas utilizadas para su elaboración. Las diferentes actividades que entrañan la elaboración del diseño, así como la redacción de este documento se han realizado usando el sistema operativo **GNU/Linux**. GNU es un conjunto de herramientas de software libre. Se trata de una organización de programas tipo UNIX. El nombre «GNU» es un acrónimo de «GNU No es Unix». Su desarrollo comenzó en 1984 y es denominado Proyecto GNU, con la intención de convertirse en un sistema operativo completo, basándose en los sistemas UNIX pero de libre distribución. Es un sistema incompleto, ya que su núcleo, HURD, no se había desarrollado completamente. Se utiliza el nombre compuesto GNU/Linux cuando se hace uso de un núcleo o kernel llamado Linux, desarrollado en 1992 por Linus Torvalds, del cual recoge su nombre. En la actualidad, existen diferentes distribuciones de GNU/Linux, entre las que se pueden destacar Debian, Ubuntu y Fedora. En nuestro caso, hemos usado Linux 3.13.0-52-generic, GNU/Linux con la distribución Ubuntu 14.04.2 LTS.

Para el desarrollo del diseño electrónico y la fabricación de la PCB se ha usado **Kicad**, una aplicación EDA (Electronic Design Automation) de software libre orientado al desarrollo profesional de esquemáticos y placas de circuito impreso de hasta 32 capas de cobre. Además de esto, Kicad permite la visualización 3D de los circuitos diseñados y se organiza en cinco partes:

- Kicad - Administrador de proyectos
- eeschema - Editor de esquemáticos
- cvpcb - Seleccionador de huellas
- pcbnew - Entorno de diseño de circuitos impresos

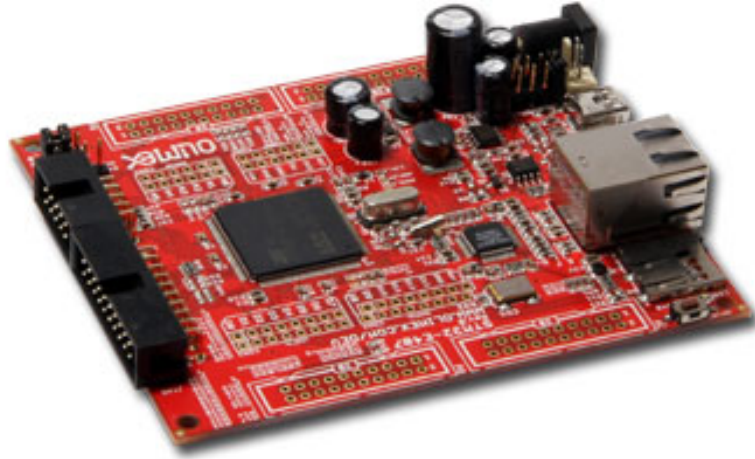


Figura 2.1: Tarjeta OLIMEX STM32-E407 para la que se realiza el diseño de este proyecto.

– gerbview - Visualizador de archivos Gerber

Las simulaciones de diversas partes del circuito diseñado se han realizado usando SPICE, un simulador de circuitos electrónicos analógicos de código abierto. Permite comprobar el funcionamiento de un circuito y su correcto comportamiento. Más concretamente se ha utilizado **LTSpice IV**, que surge a partir del simulador SPICE y es implementado por la casa Linear Technology. Permite el uso de modelos de terceros y entre sus funcionalidades incluye simulaciones de corriente alterna (AC), de transitorios y de ruido. Desde 2003, la aplicación se puede utilizar en Linux mediante el simulador Wine de Windows.

Algunas de las cuestiones del diseño han necesitado la realización de cálculos que se han realizado utilizando **Octave**, un software de alto nivel escrito en C que se emplea en computación numérica y análisis de datos, presentándose como una alternativa barata y eficiente frente a otros programas de cálculo como puede ser Matlab, ya que es distribuido bajo una licencia pública de GNU.

No sólo ha sido necesario software sino también se utiliza hardware. El controlador de la adquisición en el que se basa nuestro diseño es una placa **OLIMEX STM32-407** que se puede ver en la Figura 2.1. Se trata de una placa de desarrollo de hardware abierto compatible con Arduino. Cuenta con un procesador ARM Cortex-M de 32 bits. La memoria RAM de la placa es de 196kB, además de una memoria flash de 1MB. También posee tres conversores A/D de 12 bits con una tasa de muestreo máxima de 2.4 MSPS, y dos conversores D/A de 12 bits. Permite comunicación por I2C, SPI, USB, CAN y Ethernet.

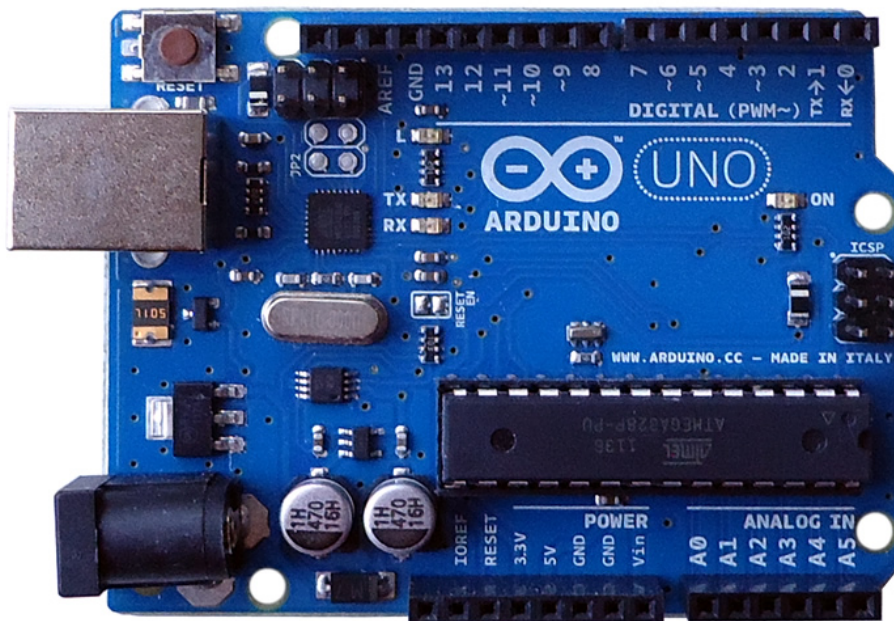


Figura 2.2: Tarjeta de desarrollo Arduino-Uno basada en el microcontrolador Arduino

Aunque nuestro diseño se ha realizado para la Olimex STM32-E407, algunas de las pruebas de los componentes del sistema se han programado con la placa de desarrollo **Arduino-Uno**, que se muestra en la Figura 2.2. Arduino es una familia de plataformas de desarrollo de hardware abierto basada en un microcontrolador con una frecuencia de 16 MHz. En los laterales de la placa posee 6 pines para entradas analógicas con un convertor A/D de 6 bits, y 14 pines de I/O digitales. La tarjeta se puede alimentar mediante un cable USB, por el que además se realiza la programación. En especial, la característica de poder programar una comunicación Maestro/Esclavo con otro dispositivo mediante el protocolo I2C ha sido muy útil para la comprobación de los componentes programables del diseño.

2.2. Proceso de fabricación

En el proceso de fabricación se ha utilizado diverso material de laboratorio, como multímetros, taladros, un horno de soldadura SMD, soldador de estaño así como los equipos de protección individual (EPI). En particular, para el proceso de elaboración de la PCB se ha utilizado una placa fotosensible positiva de doble cara (160x100mm), de marca Repro, cuyo material base o sustrato es una lámina rígida de fibra de vidrio de doble cara con un grosor de 1.6mm y una lámina conductora de cobre electrolítico, cuyo grosor es del orden de las 35 micras.

En esta placa la luz debe incidir en la zona del circuito que se quiere eliminar, por lo tanto, las pistas, pads y el resto de las zonas que se deseen mantener deben ser tapadas para que no incida la luz sobre ellas. Esto se logra mediante el uso de fotolitos, que se muestran en la Figura A.4 y la Figura A.5 del anexo.

Para la impresión de los fotolitos se utilizó una impresora de inyección de tinta. Los fotolitos se imprimieron sobre transparencias HP. Este tipo de transparencias permiten que se asiente bien la tinta, e impiden su agrietado al secar. El proceso de insolado se realizó mediante una insoladora que ofrece una superficie acristalada de exposición, con un sistema de luz compuesto por tubos fluorescentes convencionales y un temporizador regulable. Además cuenta con un sistema de vacío.

Para el revelado de la placa se usó una mezcla de 10 gramos de sosa cáustica y un litro de agua.

En el caso del atacado de la PCB se usó un tanque de ácido de la marca MEGA, que es capaz de generar un burbujeo que favorece al atacado de la placa. El ácido es una solución al 40% de cloruro férrico con una tasa de atacado de 10 a 30 $\mu\text{m}/\text{minuto}$.

Acabado el proceso de atacado se comprueba la continuidad de la placa con la ayuda de un multímetro. Para el taladrado de la placa se ha usado un taladro con soporte fijo, con una broca de 0.8mm de diámetro, tanto para las vías como para los pads de la shield tipo Arduino.

En el proceso de soldado SMD se ha utilizado una pasta de soldar en frío con la que se sujetan los componentes a la placa para un posterior horneado. Se ha usado un horno INFRARED IC HEATER T-962, cuyo perfil de soldadura se puede observar en la Figura 5.4. Asimismo, se ha usado un soldador de mano para las vías, las tiras de pines y los conectores.

El proceso de fabricación de una PCB conlleva cierto riesgo, por el hecho de trabajar con sustancias tóxicas como el plomo, encontrado en la pasta de soldadura, y sustancias corrosivas como la sosa cáustica utilizada en el proceso de revelado, o el cloruro férrico en el proceso de atacado. Como método de precaución se ha utilizado en todo momento la bata de laboratorio, guantes de latex y gafas de seguridad.

2.2.1. El proceso de comprobación

Para el proceso de comprobación ha sido necesario usar un osciloscopio HAMEG 303-6 35MHz para representar gráficamente las señales de entrada y de salida de nuestro sistema. También se usó un generador de señales HM8030-6 para simular la señal de entrada proveniente del hidrófono. En cuanto a generar las fuentes de alimentación del circuito, que han de ser desde -3.3V a +3.3V se usó una fuente de alimentación HM8040-3. Por otro lado, se se ha trabajado con Arduino Uno para ajustar el valor de la resistencia programable a los requerimien-

tos necesarios para el correcto funcionamiento del sistema, mediante el protocolo I2C. Por último se usó una placa protoboard para realizar las conexiones del entre todos los elementos anteriormente mencionados.

Capítulo 3

Diseño del Prototipo

Como se ha explicado con anterioridad, el objetivo de este proyecto es el diseño y fabricación de un sistema de acondicionamiento de señales, programable digitalmente y con la forma y conexionado de un "shield" de Arduino. Este sistema permite filtrar y adecuar los niveles de la señal proveniente de un hidrófono para su posterior digitalización.

3.1. Requisitos del Prototipo

El sistema debe cumplir los siguientes requisitos:

- Las señales de salida del prototipo se muestrean como máximo a 200kHz, por lo que están limitadas a 100kHz.
- Dichas señales deben estar adaptadas al rango de entrada del conversor A/D, es decir, de 0 a 3.3V, por lo que es necesario añadir una componente de continua de 1.65V.
- El sistema debe poder amplificar las señales en un factor de 10.
- Tanto la frecuencia de corte del filtro antialiasing como la ganancia del amplificador deben ser programables digitalmente.
- La alimentación del sistema es de $\pm 3.3V$.

3.2. Diseño

En la Figura 3.1 se muestra el diagrama de bloques funcional del sistema.

El sistema está formado por dos bloques, el de filtrado y el de adaptación. El primer bloque consta únicamente de un filtro antialiasing. Este bloque se encarga de eliminar las frecuencias que no permitan al conversor A/D realizar un

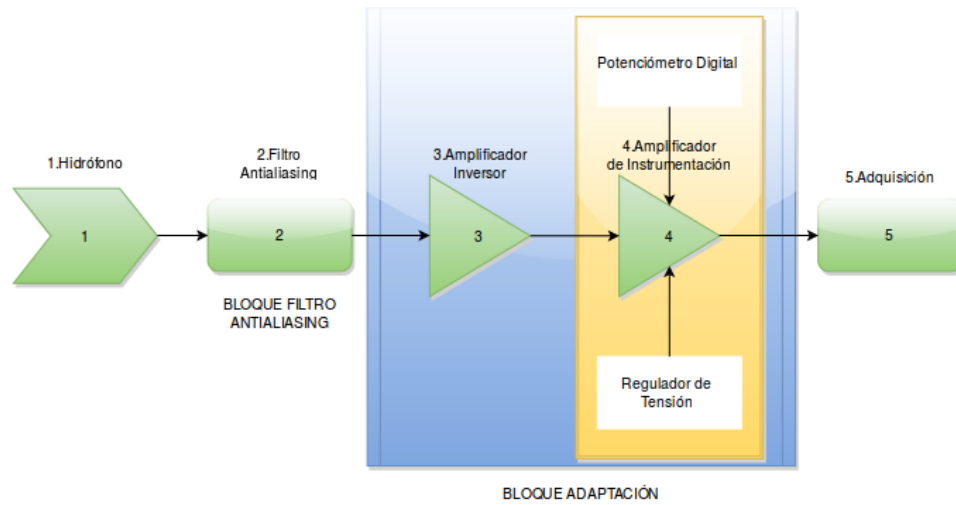


Figura 3.1: Diagrama de bloques funcionales del Shield

correcto muestreo. En el segundo bloque se pueden diferenciar cuatro elementos: un amplificador de instrumentación, un potenciómetro digital, un amplificador en configuración inversora, y un regulador de tensión. Su función consiste en adaptar la señal a la etapa de adquisición.

En la Tabla 3.1 se recogen las características principales de los componentes en relación con los requisitos del prototipo.

Componente	Alimentación	Otros
Filtro	Dual, $\pm 3.3V$	$f_c=100kHz$, programable digitalmente
Amplificador operacional	Dual, $\pm 3.3V$	$GBW \geq 50kHz$, salida rail to rail
Amplificador de instrumentación	Dual, $\pm 3.3V$	Producto $GBW \geq 1MHz$, programable por resistencia, salida rail to rail
Regulador de tensión	Single, 3.3V	1.65V
Potenciómetro digital	Single, 3.3V	

Tabla 3.1: Requerimientos iniciales de componentes del diseño

3.2.1. Bloque de Filtrado

La principal función de este bloque es evitar que se produzcan efectos de aliasing. El conversor A/D muestrea a una frecuencia de 200kHz, por lo cual, aplicando el criterio de Nyquist, la frecuencia de corte del filtro antialiasing tendrá que ser como mucho la mitad de la frecuencia de muestreo, es decir 100kHz, garantizando esa frecuencia máxima para las señales provenientes de hidrófono. Así mismo, el filtro eliminará el ruido de alta frecuencia presente en la señal del hidrófono.

Como filtro se eligió el CI LTC1564 de Linear Technology, que permite su programación por medio de la carga en paralelo de 4 bits. La frecuencia es ajustable en el rango de 10kHz a 150kHz, con pasos de 10kHz. Un filtro programable

proporciona versatilidad al sistema y posibilita modificar la frecuencia de muestreo en la etapa de digitalización.

3.2.2. Bloque de Adaptación

El bloque de adaptación es el encargado de adecuar la señal al margen de entrada del convertor A/D. Este bloque está compuesto a su vez, por otros dos bloques diferenciables: un bloque de atenuación previo al amplificador de instrumentación, formado por un amplificador operacional en configuración inversora; y un bloque de amplificación, formado por el regulador de tensión, el potenciómetro digital, y amplificador de instrumentación.

Tal como se dijo, este bloque tiene que actuar de tal manera que la señal que le llegue sea adaptada para que coincida con los márgenes del convertor A/D, es decir, de 0 a 3.3V. Se ha supuesto que la señal que se obtiene del hidrófono, y por tanto, la señal de salida del filtro antialiasing, tomará valores de amplitud menores que $3.3V_p$. Como a dicha señal se le debe añadir una componente de continua de 1.65V en el amplificador de instrumentación, es necesario que la señal de entrada sea la mitad como máximo del valor de salida, es decir, la mitad de 3.3V. Para ello, se ha introducido un bloque previo de atenuación, compuesto por un amplificador operacional en configuración inversora, en este caso el LTC6240. Asimismo, la salida debe ser rail to rail. La ganancia de un amplificador inversor viene dada por la ecuación 3.1

$$A_v = -\frac{R_2}{R_1} \quad (3.1)$$

donde R_1 es la resistencia de entrada y R_2 la de salida. Si se fija la R_1 en $10k\Omega$, para cumplir una ganancia de 0.5, se requiere que R_2 sea de $5k\Omega$. En la Figura 3.2 se muestra el amplificador operacional en configuración inversora.

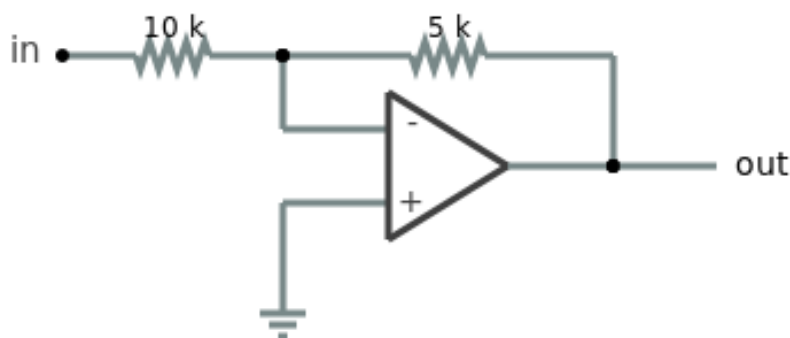


Figura 3.2: Amplificador operacional en configuración inversora

La ganancia del amplificador de instrumentación está controlado por una resistencia programable digitalmente. De esta forma, con la programación de la resistencia, se garantiza un comportamiento semejante al que tiene lugar en los amplificadores cuya ganancia se puede ajustar de manera digital. A continuación se muestra una lista de algunos amplificadores de instrumentación con ganancia ajustable mediante una resistencia externa.

- AD623
 - Rail to rail
 - GBW=1GHz
 - Cumple alimentación: Dual desde $\pm 2.5V$ hasta $\pm 6V$
- AD8226
 - Rail to rail
 - GBW=1.5GHz
 - Cumple alimentación: Dual desde $\pm 1.3V$ hasta $\pm 18V$
- AD8220
 - Rail to rail
 - Para GBW=8GHz
 - Cumple alimentación: Dual desde $\pm 2.25V$ hasta $\pm 18V$

Se ha elegido el AD623, debido a que satisface con la holgura necesaria los requerimientos. A continuación se muestra la relación entre la resistencia y la ganancia del amplificador.

$$A = 1 + \frac{R_{Referencia}}{R_g} \quad (3.2)$$

donde R_g es la resistencia que fija la ganancia. Para el AD623 la resistencia que ofrece la patilla de referencia (Figura 3.4) coincide con el valor de $100k\Omega$.

El sistema debe ser capaz de obtener una ganancia neta de 10. Debido al amplificador inversor, la señal que llega al amplificador de instrumentación es reducida a la mitad. Por lo tanto, es necesario que la ganancia del amplificador de instrumentación alcance el valor de 20 para en conjunto obtener una ganancia de 10. Para ello, el potenciómetro digital debe poder alcanzar un valor 19 veces inferior a la $R_{Referencia}$.

En la ecuación 3.2 se puede observar que la ganancia del amplificador en función de una resistencia variable es una función no lineal. Por ello, es necesario

realizar un análisis de la curva de ganancia en función de la resistencia. El tipo de resistencia que se va a utilizar es programable digitalmente, y preferiblemente de comportamiento lineal, para facilitar el diseño. En posteriores revisiones es posible estudiar una alternativa no lineal que ayude a linealizar en mayor medida el sistema.

AD5241:

- Resistencia nominal de $1M\Omega$.
- 256 posiciones posibles
- Comportamiento lineal

$$R_{aw} = R_{ab} \times \left(1 - \frac{D}{256}\right) + R_w \quad (3.3)$$

$$R_{bw} = R_{ab} \times \frac{D}{256} + R_w \quad (3.4)$$

, donde D es la palabra digital, R_{aw} es la resistencia entre cursor y A, R_{ab} es la resistencia nominal, y R_w una pequeña resistencia aportada por el cursor

- Alimentacion unipolar de 3.3V
- Programable mediante protocolo I2C

En la Figura [3.3] se puede observar que el valor de la ganancia respecto de la palabra digital para el AD5241 se comporta como un cociente.

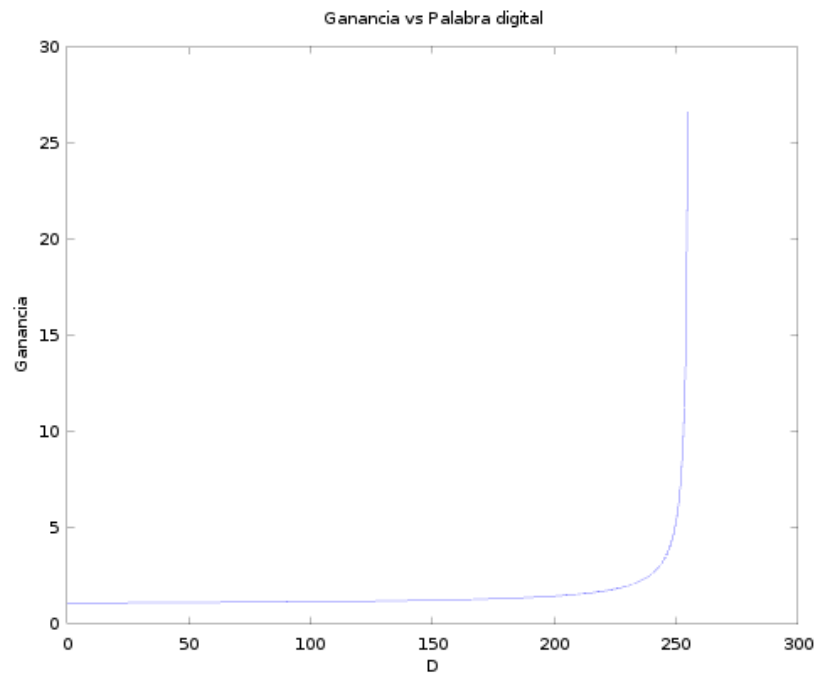


Figura 3.3: Ganancia en función de la palabra digital

Se ha utilizado la resistencia establecida entre A y W. La decisión ha sido tomada bajo la premisa de que en un diseño futuro se quiera hacer uso de la función *SHUTDOWN*, la cual establece un circuito abierto entre dichos terminales, que puede ser empleado para forzar la ganancia del amplificador a 1, ya que si R_g es infinito, se anula el cociente en la expresión 6.8. Sin embargo, en este diseño no se ha implementado, ya que se trataría de un caso ideal en el que la señal de entrada ha alcanzado los márgenes de la alimentación del sistema.

Otro de los motivos para la elección del tramo A-W, se encuentra en la propia ecuación. Si se sustituye el valor máximo de la palabra digital, se esperaría obtener un contacto entre cursor y extremo del potenciómetro, dejando como única resistencia de salida la aportada por el cursor. Sin embargo, el máximo valor que puede sustituirse en la expresión es de 255, dejando un valor de resistencia añadido, suficientemente grande como para evitar el cortocircuito. Esta situación no tiene lugar en el otro tramo W-B. Como se observa en la ecuación 6.9, si se sustituye D por el valor mínimo, la resistencia total obtenida sería exclusivamente la del cursor. Debido a esto, es necesario realizar un análisis a fin de determinar la corriente máxima que puede circular por el potenciómetro digital sin que resulte dañado.

De acuerdo a la hoja de datos facilitada por el fabricante, la corriente máxima que puede pasar por la resistencia antes de comenzar a sufrir desperfectos es de

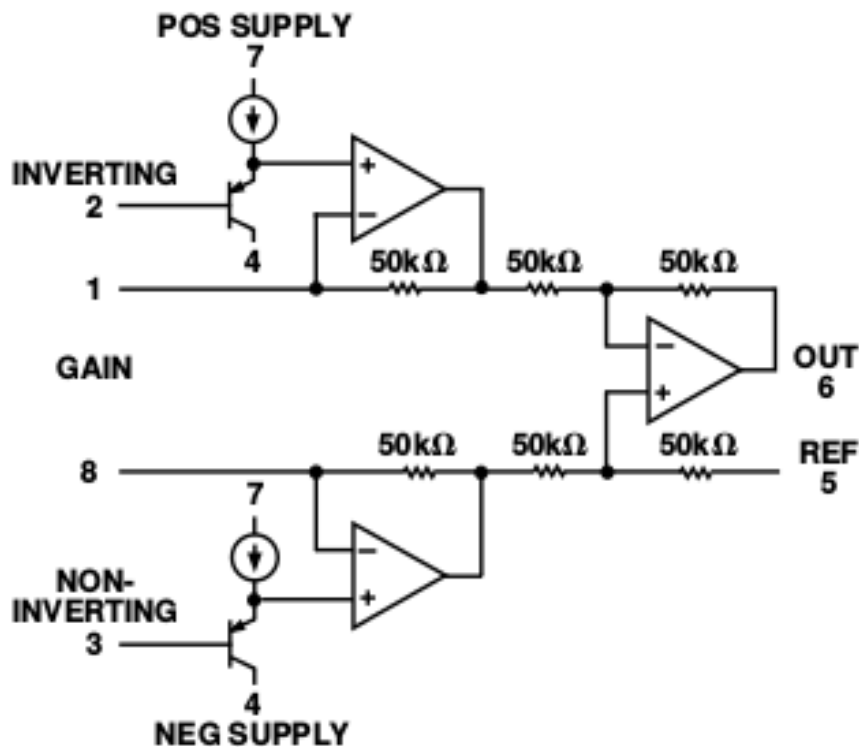


Figura 3.4: Esquema interno del AD623 facilitado por Analogic Devices

20mA. Para calcular el valor de la corriente máxima que va a pasar, es necesario acudir a la información referente al amplificador de instrumentación. En la Figura 3.4 se observa como las patillas de la resistencia reguladora están sometidas directamente a la entrada diferencial. Como en el diseño la patilla negativa del amplificador está conectado a tierra, y la patilla positiva será la entrada de la señal, se deduce que la corriente máxima que pasará por la resistencia viene dada por la tensión máxima de la salida del amplificador inversor, que en el peor caso será de $1.65V_p$. Por tanto:

$$I_{max} = \frac{V}{R_{min}} \quad (3.5)$$

La resistencia mínima se puede obtener de la fórmula de la resistencia sustituyendo el valor de 255 en la palabra digital. El resultado de esta operación es de 3966.2Ω . Si se sustituye en la expresión 3.5 se obtiene una corriente de 0.42mA, muy por debajo del valor límite. Por ello, se puede hacer uso del rango completo de valores sin dañar los componentes.

Se utiliza un regulador de tensión para fijar la referencia del amplificador de instrumentación. El valor de tensión de referencia se situará en la mitad de la ten-

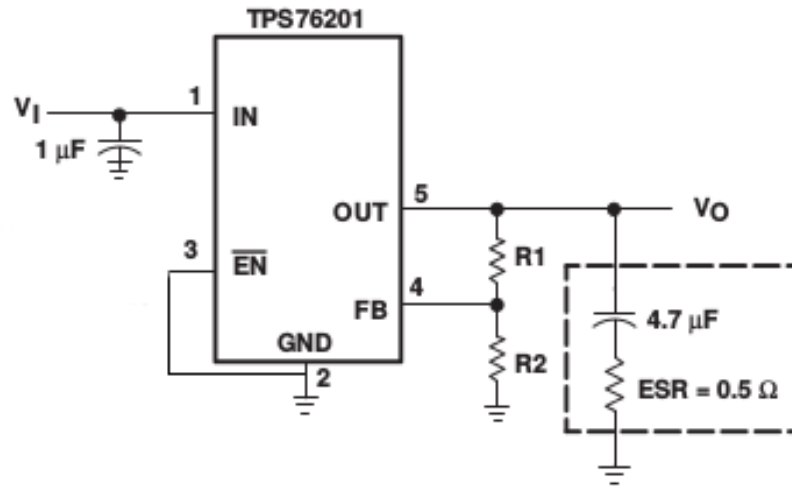


Figura 3.5: Configuración del TPS76201 con malla de resistencias facilitado por Texas Instruments y modificado para ajustarse al diseño

sión de entrada del convertor A/D, es decir 1.65V. Además de ello, es altamente recomendable que sea un regulador fijo, es decir, que la salida sea 1.65V sin necesidad de componentes adicionales (exceptuando condensadores para filtrar) que podrían añadir ruido al sistema.

Algunos de los reguladores capaces de proporcionar dicho valor de tensión sin necesidad de componentes externos se muestran en el Cuadro 3.2

Componente	Salida
TPS709	Programable con resistencias
TPS76201	Programable con resistencias
MIC3975	Valor fijo
MIC37100	Valor fijo

Tabla 3.2: Reguladores

Dado que no es posible adquirir reguladores de la casa MICREL, se ha optado por cambiar de estrategia y usar un regulador con componentes externos para ajustar la tensión de salida. En este caso se ha elegido el TPS76201. En la Figura 3.5 se muestra la configuración que debe seguirse para ajustar la salida del regulador a una tensión dada.

En la hoja de características del TPS76201 se especifica que la tensión de salida regulada por medio de dos resistencias viene dada por la expresión

$$V_O = V_{REF} \times \left(1 + \frac{R_1}{R_2}\right) \quad (3.6)$$

El fabricante recomienda que el valor de R2 se encuentre en torno a 66.5kΩ y se eligió una resistencia de valor 68kΩ. Esto se hace para evitar que los valores de las resistencias sean suficientemente bajos como para que exista un exceso de corriente a la salida. Por otro lado, también se intenta evitar que se alcance un valor excesivo que pueda producir errores en la tensión de salida debido a corrientes parásitas. Se trata de buscar un compromiso entre ambas cuestiones.

Despejando R1:

$$R_1 = R_2 \times \left(\frac{V_O}{V_{REF}} - 1\right) \quad (3.7)$$

Siendo $V_{REF} = 0.6663 \text{ V}$ para el TPS76201:

$$R_1 = 68,0k\Omega \times \left(\frac{1,65V}{0,6663V} - 1\right) \approx 100k\Omega \quad (3.8)$$

De forma adicional, se recomienda el uso de un condensador de 1μF en la entrada y otro electrolítico de 4.7μF en la salida. Para este último condensador se especifica que el valor ESR debe ser inferior a 1.5Ω.

3.3. Entradas, Salida y Alimentación

La señal de entrada proviene de un hidrófono ITC6050. En el interior del hidrófono se encuentra un pre-amplificador de bajo ruido, encargado de compensar la atenuación del sistema. Se estima que la señal recibida no superará un valor de 3V_p. Asimismo, la señal de entrada al conversor A/D no puede sobrepasar el rango de 0-3.3V. Por lo tanto, la alimentación de la placa se establecerá en ±3.3V.

En la Figura 3.6 se muestra la respuesta en frecuencia del hidrófono en circuito abierto.

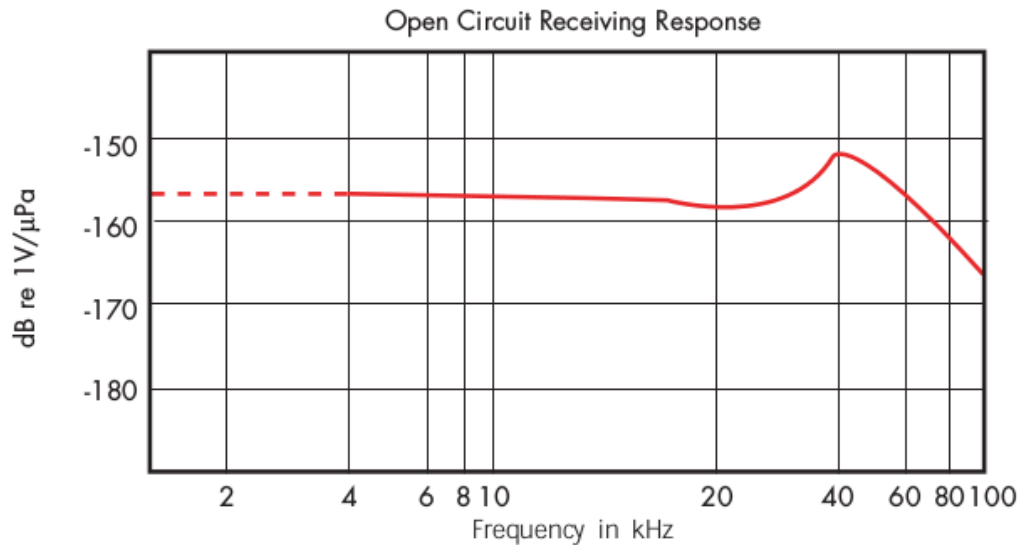


Figura 3.6: Respuesta en frecuencia del ITC6050 en circuito abierto facilitado por International Transducer Corporation

El pin de salida del prototipo estará conectado a una tarjeta OLIMEX ST32-E407. En la tarjeta que se va a utilizar como controlador, existen tres conversores A/D con una resolución de 12 bits y un rango que va desde 0 hasta 3.3V, por lo que la señal de salida debe contener una componente de continua que se encuentre a mitad del fondo de escala.

Para la programación del potenciómetro digital se hace uso del protocolo I2C, es decir, con una señal de reloj y una de datos. El protocolo I2C es un protocolo de comunicación serie basado en la transmisión de datos de forma síncrona mediante dos únicos conductores. Su nombre procede de *Inter Integrated Circuits*, y su diseñador es Phillips. Tiene una tasa de transmisión de datos normalizada en 100kbit/s, pero en algunos casos se puede forzar a que trabaje a 400kbit/s o incluso 3.4Mbit/s. Posee una jerarquía de Maestro-Esclavo donde generalmente el Maestro suele ser un microcontrolador, en este caso el Arduino Uno, que se encarga de mandar los diferentes datos e instrucciones a los esclavos. Estos últimos solo pueden responder cuando el Maestro lo solicite y no tienen permiso de escritura. Las líneas principales de transmisión son SDA, encargada de la información, y SCL, que porta la señal de reloj. En muchas situaciones también es necesario añadir una línea de tierra para que todos los sistemas se encuentren a la misma referencia. Es necesario hacer uso de resistencias pull-up a 5V en cada una de las líneas de transmisión. Este tipo de comunicación hace uso de lógica inversa.

El funcionamiento del bus radica en la señal de sincronismo, SCL. En la Figura 3.7 se muestra el esquema básico de funcionamiento del protocolo. El Maestro

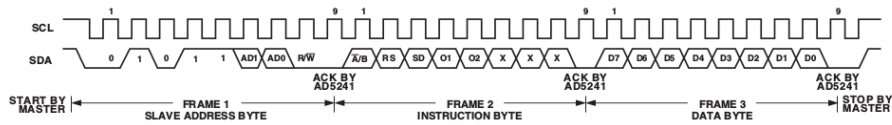


Figura 3.7: Esquema de funcionamiento del bus I2C extraído del datasheet del AD5241 de *Analogic Devices*

comienza enviando una solicitud de acceso al bus. Si este está libre, se puede conectar y enviar el primer paquete de datos, consistente en una palabra de 8bit que incluye la dirección del Esclavo al que se va a enviar la información, además de un bit de escritura. Es en este momento en el que el Esclavo debe responder con un bit de *Acknowledge*, indicando que se encuentra en posición de recibir información. A partir de este momento el Maestro puede enviar la información que considere oportuna, siempre recibiendo confirmación por parte del Esclavo. En el caso del AD5241, se debe enviar primero un bit de instrucción en el que se indican ciertas funciones, y posteriormente una palabra de 8bit en la que se establece el valor de la resistencia. Después de ajustar dicho valor, el maestro termina la comunicación hasta que necesite de nuevo iniciarla para cambiar algún parámetro.

Para la interconexión de nuestro sistema con el exterior, tenemos:

- La alimentación usará un conector de tres pines, que proveerán a la placa de tensiones $\pm 3.3V$ y una tierra que coincidirá con la tierra analógica de la placa.
- Las señales encargadas de controlar la resistencia programable usarán un conector de dos pines.
- La señal del hidrófono se recibirá mediante un conector de dos pines.
- La señal de salida del sistema se conecta a pin del shield correspondiente a la entrada analógica cero del Arduino (A0).

3.4. Modificaciones del diseño

Durante las pruebas de funcionamiento del shield, se identificaron varios errores de diseño. Estos errores se corrigieron sobre la propia PCB y se explican a continuación:

- El LTC1564 (filtro antialiasing) cuenta con 4 pines para ajustar digitalmente el valor de su ganancia. En el datasheet proporcionado por el fabricante se especifica que, si se desea un filtro con ganancia unidad en la banda de

paso, dichos pines deben encontrarse conectados a tierra. Sin embargo, en el diseño original no se tuvo en consideración, quedando al aire, y por tanto tomando valores de ganancia aleatorios. Este efecto queda patente cuando la salida del filtro muestra una pequeña envolvente. Para solucionar esta situación, se han conectado a tierra.

- El pin 5 de la resistencia programable no se había asignado a $+V_{cc}$ como se recomienda en el datasheet proporcionado por el fabricante. El objetivo de esta entrada es forzar un circuito abierto entre el extremo A del potenciómetro y el cursor W si está a baja. En un primer diseño se planteó hacer uso de dicha función, pero se descartó, por lo que la solución correcta habría sido conectarlo a $+V_{cc}$.
- El pin de alimentación negativa del AD623 quedó sin conectar debido a un error de asignación de etiquetas en el esquemático. Para solucionar este error se ha hecho uso de un puente para conectar la pista de $-V_{cc}$ con dicho pin.

Capítulo 4

Simulación

Una vez completado el diseño y como paso previo a las compras y fabricación se ha simulado el sistema. Dicha simulación ha sido realizada en el entorno LTSpice IV. En la Figura 4.1 se muestra el diseño realizado:

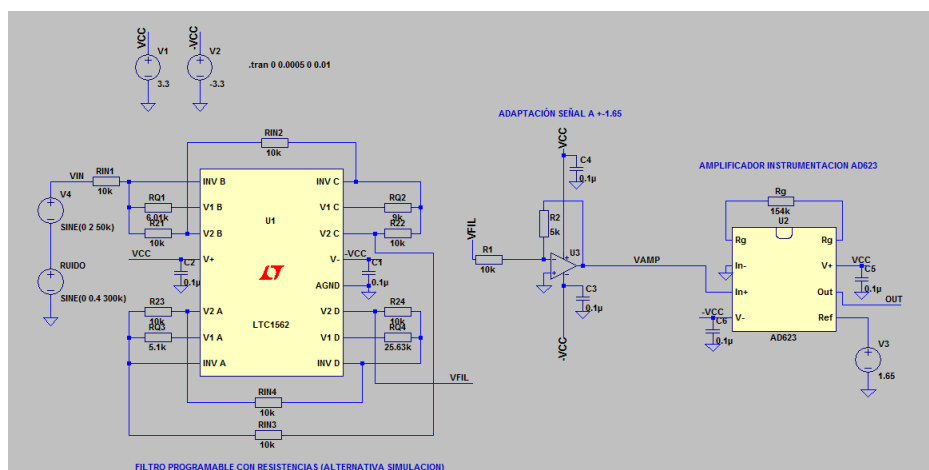


Figura 4.1: Esquemático de la simulación

4.1. Adaptación de componentes para la simulación

A pesar de que en el diseño original se habían propuesto una serie de componentes, para la simulación ha sido necesaria una ligera modificación de los mismos. Dichos cambios se listan a continuación:

- En lugar del filtro originalmente elegido, se ha optado por usar el LTC1562, ya que a efectos de simulación cumple con los requisitos anteriormente expuestos si se configura como un filtro de octavo orden de Butterworth. La

diferencia con el LTC1564 radica en que para ser programado es necesaria una red de resistencias que ajusta los valores de frecuencia de corte del filtro. Se ha tomado esta decisión debido a la ausencia de un modelo SPICE que defina el LTC1564.

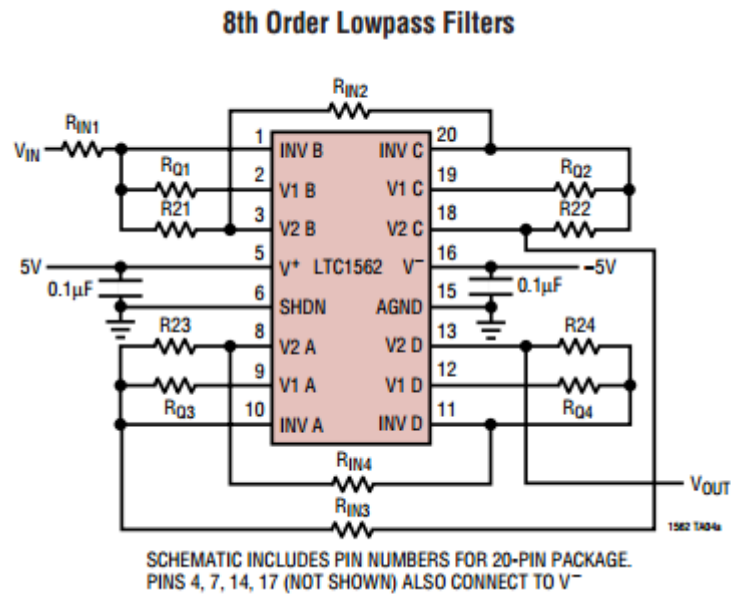


Figura 4.2: LTC1562 en configuración de Butterworth de 8° orden facilitado por Linear Technologies

- La referencia de tensión de 1.65V para el AD623 ha sido realizada con una fuente de tensión del simulador.
- Se ha sustituido la resistencia programable digitalmente por una resistencia de valor fijo. Dicha resistencia se ha conectado de la misma forma.

Debido al uso del filtro LTC1562, ha sido necesario realizar el cálculo de los valores de resistencias adecuados para obtener un comportamiento que se ajuste al del LTC1564. Asimismo, se ha obtenido un valor aproximado para la resistencia del AD623.

4.2. Cálculo de valores de resistencias

Para el cálculo de los parámetros de la simulación se ha hecho uso del software Octave. Se ha realizado un script que incluyera todos los parámetros necesarios y se ha dejado en función de una frecuencia de corte elegida para el filtro, y una

amplitud de la señal de entrada. En la Figura 4.3 se muestran los cálculos necesarios para las resistencias del filtro en el margen de 10kHz a 140kHz. El script se puede consultar en el Anexo B.1.

$$\begin{aligned}
 &\textbf{Butterworth} \\
 &\text{(Maximally Flat Passband)} \\
 &\text{for } f_c \text{ 10kHz to 140kHz} \\
 R_{21} = R_{IN1} &= 10k \left(\frac{100\text{kHz}}{f_c} \right)^2 \\
 R_{Q1} &= 6.01k \left(\frac{100\text{kHz}}{f_c} \right) \\
 R_{22} = R_{IN2} &= 10k \left(\frac{100\text{kHz}}{f_c} \right)^2 \\
 R_{Q2} &= 9k \left(\frac{100\text{kHz}}{f_c} \right) \\
 R_{23} = R_{IN3} &= 10k \left(\frac{100\text{kHz}}{f_c} \right)^2 \\
 R_{Q3} &= 5.1k \left(\frac{100\text{kHz}}{f_c} \right) \\
 R_{24} = R_{IN4} &= 10k \left(\frac{100\text{kHz}}{f_c} \right)^2 \\
 R_{Q4} &= 25.63k \left(\frac{100\text{kHz}}{f_c} \right)
 \end{aligned}$$

Figura 4.3: Ecuaciones para el cálculo de los valores de R del filtro obtenido del datasheet del LTC1562 del fabricante Linear Technologies

Para la simulación se ha impuesto que la frecuencia de corte del filtro sea el valor máximo que puede alcanzar, es decir, la mitad de la frecuencia de muestreo del convertor A/D, 100kHz. En cuanto a la amplitud de la señal de entrada del hidrófono, se ha elegido un valor arbitrario de $2V_p$.

4.3. Resultados de la simulación

La simulación se ha realizado introduciendo al circuito un tono de amplitud 2V con una frecuencia de 50kHz a la que se le ha añadido otro tono en una frecuencia de 300kHz y con una amplitud de 0.4V a modo de ruido.

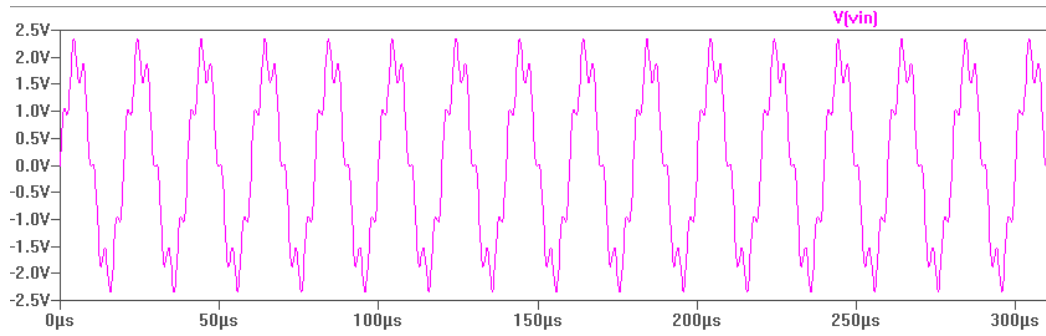


Figura 4.4: Señal de entrada al circuito

Las Figuras 4.5, 4.6 y 4.7 representan las salidas del filtro, el partidor de tensión, y la salida del amplificador de instrumentación.

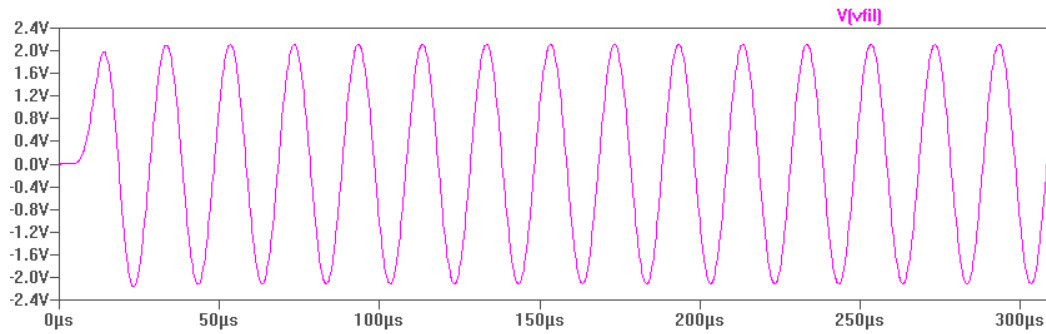


Figura 4.5: Señal a la salida del filtro

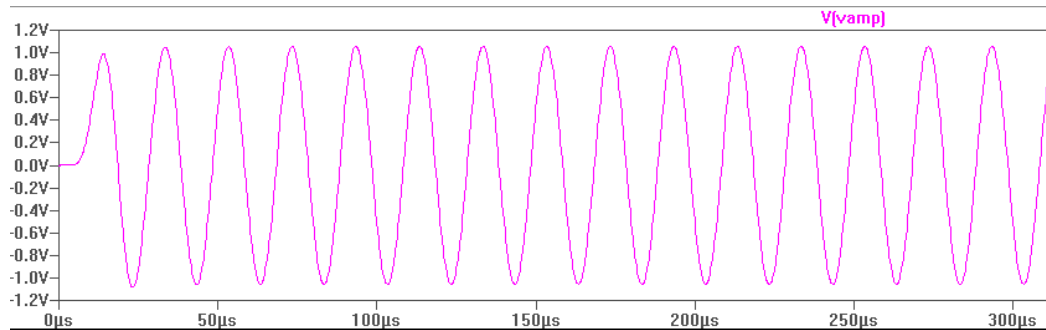


Figura 4.6: Señal a la salida del partidor de tensión

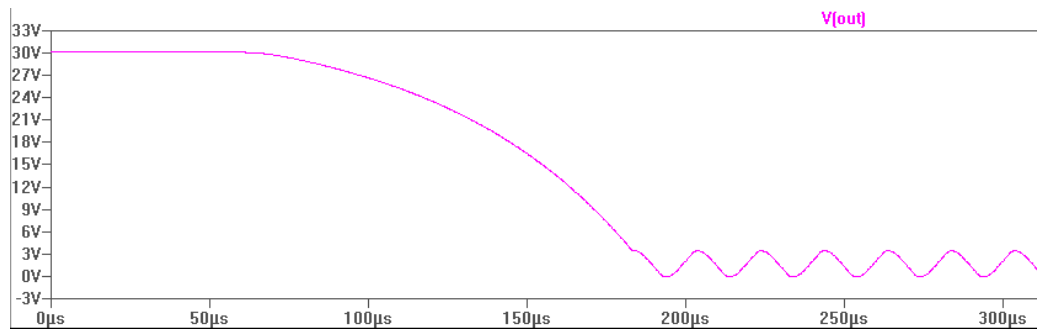
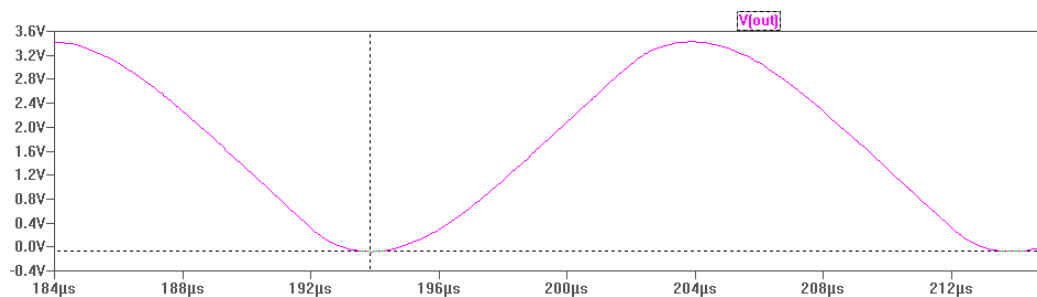


Figura 4.7: Señal de salida del circuito

Como se puede observar en la Figura 4.5, el filtro está realizando su función correctamente, eliminando la componente de alta frecuencia, y manteniendo el tono de frecuencia 50kHz con una amplitud de 2V. En la Figura 4.6, la señal se ha reducido a la mitad de su amplitud debido al amplificador inversor, encargado de adaptarla al amplificador de instrumentación para evitar que sature al aplicar el offset. Por último, en la Figura 4.7 la señal que se observa dista bastante del comportamiento esperado en el transitorio. Este comportamiento no tiene mucho sentido, teniendo en cuenta que las alimentaciones del integrado se encuentran en valores de $\pm 3,3V$, por lo que suponemos que se debe a un error de simulación provocado por alguna idealización del modelo del AD623. Sin embargo, si centramos la imagen en el estacionario, se observa lo siguiente:

Figura 4.8: Valor inferior de V_{OUT}

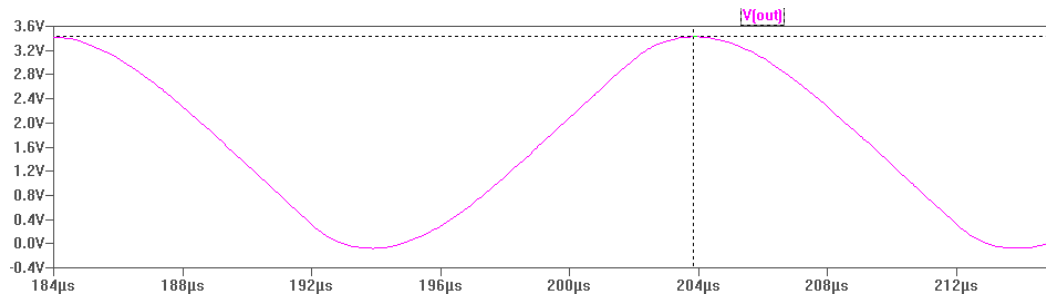


Figura 4.9: Valor superior de V_{OUT}

En las Figuras 4.8 y 4.9 se puede comprobar que la señal se encuentra centrada en una tensión de aproximadamente 0 a 3.3V.

Capítulo 5

Diseño y fabricación

En este capítulo se hablará del diseño de la placa realizado con la herramienta Kicad, y el proceso de fabricación seguido en el laboratorio.

5.1. Diseño de la PCB

Una vez diseñado el sistema y comprobado el correcto funcionamiento en simulación, se ha hecho uso de la herramienta de software libre Kicad para su implementación en PCB. Esta herramienta permite crear esquemáticos dirigidos al diseño de una placa de circuito impreso (PCB) bien mediante la generación de los ficheros gerber o mediante la generación de fotolitos, como es nuestro caso.

5.1.1. Esquemático

En este primer paso se ha realizado el esquemático que permitirá al programa generar un archivo netlist. El archivo netlist (.net) contiene la lista de componentes y de conexiones resultantes del esquema. En el entorno de PCB, este archivo es leído para establecer las conexiones hechas previamente en el editor de esquemático. De esta forma, el único paso intermedio entre el diseño del esquemático y la PCB es la asignación de las correspondientes huellas a cada componente.

5.1.2. Generación de huellas y configuración del sistema

Después del diseño del esquemático del circuito, hay que asignar las huellas de cada componente para trasladarlo al entorno PCB. Todos los componentes del diseño tienen huellas SMD, a excepción de la shield del Arduino cuya huella es THD.

Debido a la limitación de las librerías de módulos que posee el Kicad por defecto, se diseñaron los módulos faltantes con sus correspondientes huellas, siguiendo como referencia las medidas que aparecen en el datasheet de cada componente. Se crearon módulos y huellas para el LTC1564, el AD5241, el LTC6240, el AD623 y TPS76201.

Como ejemplo se muestra en la Figura 5.1 el resultado de la huella del AD623.

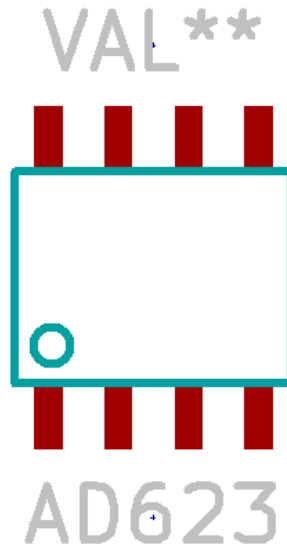


Figura 5.1: Footprint de AD623

A cada módulo se le asigna su huella dentro del entorno CvPCB para establecer las dimensiones físicas de cada uno en la placa.

De cara a un correcto funcionamiento de la PCB, se han establecido los siguientes criterios en las reglas de diseño:

- Separación entre pistas (Clearance): 0,1mm.
- Ancho de pista (Track width): 1mm.
- Diámetro de la vía (Via Dia): 1,6mm.
- Diámetro del taladro de la vía (Via Drill): 0,8mm.

Los valores mínimos estimados para la placa son los siguientes:

- Ancho de pista mínimo (Min track width): 0,4mm.
- Diámetro de vía mínimo (Min via diameter): 1,2mm.
- Diámetro del taladro de la vía mínimo (Min via drill dia): 0,7mm.

También se han definido los anchos de pista con los que se va a trabajar. Se ha otorgado 0,4mm al menor ancho de pista y 1mm al mayor. En total se definen 7 anchos de pista con un incremento de 0,1mm entre ellos.

5.1.3. Elementos del diseño de la PCB

La placa se diseña de tal forma que tenga las mismas medidas de ancho y largo que un "shield" del Arduino a partir de una plantilla para kicad realizada por el usuario *nichlaslewis* de *www.thingiverse.com* [9]. Dichas medidas se corresponden con: 68,58mm de largo y 53,34mm de ancho. De esta forma se hace compatible con las placas de desarrollo Arduino o similares.

Tras este paso, ya se puede cargar el netlist a fin de traducir las conexiones realizadas en el esquemático a la PCB.

La colocación de los componentes se hará sobre la capa superior de la placa (Top Layer). La decisión sobre la colocación de cada uno de los circuitos integrados se ha tomado desde el punto de vista funcional del diseño, es decir, según el orden de los distintos bloques.

Asimismo, se han tenido en cuenta ciertas condiciones para efectuar la colocación de los componentes:

- Los conectores se han situado en el borde de la placa para facilitar su conexión y desconexión.
- Los circuitos integrados se han colocado siguiendo siempre una misma orientación. Su dirección longitudinal coincide con la dirección longitudinal de la PCB. El resto de los componentes se han distribuido alrededor de los CI.
- El circuito integrado LTC1564 que recibe directamente la señal del conector de entrada, se ha situado junto a éste con el fin de evitar la aparición de ruido en la señal. Con el mismo objetivo, el amplificador AD623 se ha colocado cerca del pin analógico A0 del "shield".
- Se ha procurado que las pistas encargadas de llevar la señal del hidrófono tengan el máximo ancho, la mínima longitud, y que no atraviesen la placa con una vía. De esta forma se logran evitar, en mayor medida, todas las interferencias que puedan ocasionar los diferentes elementos presentes en la PCB.
- Se han situado los condensadores de desacoplo cercanos a la alimentación de los circuitos integrados a los que corresponden.

En cuanto al trazado de pistas, se realizan tanto en la capa Top como en la Bottom. El ancho máximo de pistas que se usa es de 1mm. Se toma como criterio que las pistas sean lo más anchas posible dentro del margen establecido, pudiendo variar la anchura de una misma pista desde 0,4mm hasta 1mm según convenga.

Debido a la complejidad del diseño, se ha optado por utilizar vías de 0,8mm de diámetro entre la capa Top y la Bottom para algunas conexiones.

Como se menciona anteriormente, la pista encargada de conducir la señal del hidrófono se ha hecho lo más corta posible. Así mismo, también se ha procurado que las pistas asociadas a la alimentación tengan prioridad en tamaño respecto a las demás.

Se han creado dos planos de tierra, uno para la señal digital y otro para la analógica. En la capa Top se ha ubicado el plano de tierra digital y en la capa Bottom se ha situado el plano de tierra analógica¹. Estos planos deben tener la mayor superficie posible, reduciendo el ruido que pueda haber en la placa. Asimismo, como ambas tierras deben estar conectadas, se hace uso sólo de una vía, evitando así bucles de tierra.

El aspecto final del circuito es el que se muestra en las dos siguientes figuras, viéndose en la Figura 5.2 la capa Top de la placa, y en la Figura 5.3 la capa Bottom.

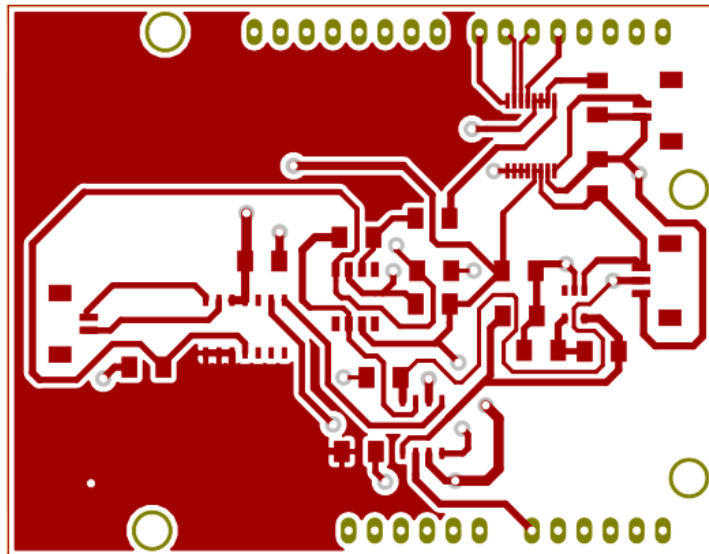


Figura 5.2: Capa TOP de la placa

¹Se elige así para permitir las conexiones de los componentes con tierra analógica haciendo uso de una vía.

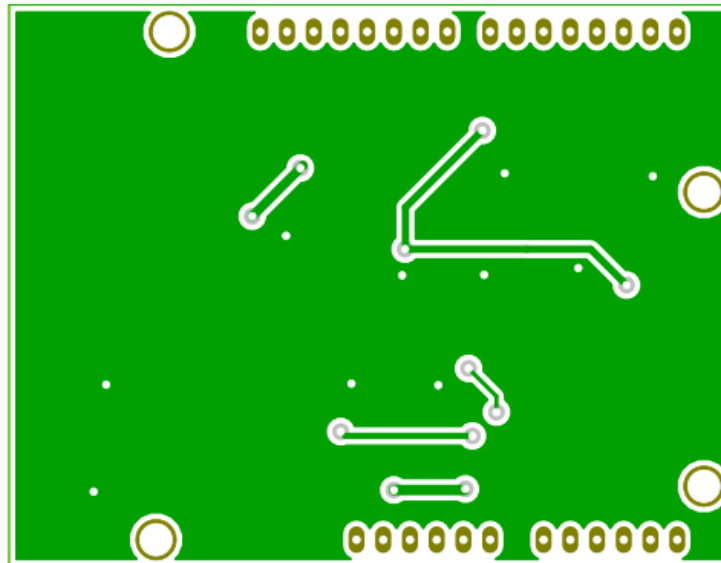


Figura 5.3: Capa BOTTOM de la placa

Por último, para la fabricación de la placa es necesaria la impresión de los fotolitos de las capas Top y Bottom. Éstos actúan como máscaras fotográficas con el objeto de grabar el mapa de pistas sobre la placa de cobre virgen.

5.2. Fabricación de la PCB

El proceso de fabricación de la PCB se desarrolla principalmente en 5 pasos:

- Generación de los fotolitos.
- Insolado de la placa virgen.
- Revelado.
- Atacado.
- Taladrado y montaje de los componentes.

5.2.1. Proceso de insolado, revelado y atacado de la PCB

En primer lugar, se imprimen los fotolitos que van a ser necesarios para el proceso de insolación de la placa.

Una vez impresos los fotolitos se comprueba si el tamaño de los componentes coincide con las huellas impresas en la transparencia. Cuando se hayan medido todos los componentes y comprobado que se ajustan perfectamente, se puede continuar con el siguiente paso del proceso.

En las transparencias se han incluido unas marcas o referencias para facilitar el proceso de insolación que se explica a continuación.

En cuanto al insolado de la placa virgen, el objetivo es debilitar las zonas donde se requiere eliminar el cobre. Al ser una placa positiva se debilitan solo las zonas donde incide la luz ultravioleta, o fluorescente en nuestro caso. Consiste en someter a la placa a luz fluorescente durante 5 minutos.

En primer lugar se coloca la placa fotosensible entre las dos transparencias, de manera que estas coincidan lo máximo posible (ayudándonos con las referencias) y se introduce en el sistema de vacío que posee la insoladora, para fijar el conjunto y evitar que se mueva de la posición previamente fijada durante el proceso de insolado.

Previamente a la etapa de insolado, se han preparado dos bandejas de plástico, una con agua y otra con sosa cáustica mezclada con agua. La proporción de esta mezcla es de 10 gramos de sosa cáustica por litro de agua.

Una vez terminado el proceso de insolación, se llevará a cabo inmediatamente el revelado de la placa.

El revelado consiste en la eliminación mediante una disolución de sosa cáustica y agua, de la película fotosensible que previamente ha sido debilitada en el insolado. Cuando el proceso de insolado termine, se introduce la PCB en la disolución de sosa cáustica y se remueve durante 2 minutos. Pasados los 2 minutos se aclara con agua para detener el proceso de revelado.

Seguidamente, se lleva a cabo el proceso de atacado.

Al igual que en el paso anterior, previamente al proceso de insolado, se calienta el ácido (cloruro férrico) hasta que alcance una temperatura de 50°C. Una vez terminado el proceso de revelado, se introduce la placa en el ácido y se procede al atacado (grabado) de la placa. Este proceso consiste en la eliminación del cobre no protegido por la película fotosensible por el cloruro férrico, durante aproximadamente 15 minutos.

Cuando se compruebe que ha sido eliminado todo el cobre que no estaba protegido por la película fotosensible, se introduce la placa en agua para detener el proceso de atacado.

A continuación se realiza una prueba de continuidad de la PCB, previa al soldado de los componentes. El objetivo de esta prueba es comprobar que las pistas están intactas. Esto se comprueba con la ayuda de un multímetro.

5.2.2. Proceso de soldado de componentes

Llegados a este punto se dispone de una placa preparada para su taladrado y montaje.

Primero se taladraron las vías y los pads correspondientes a la huella de la "shield" tipo Arduino. Luego se cortaron los bordes sobrantes de la placa para mejorar el aspecto del diseño. Por último se limpió la placa con algodón y alcohol etílico al 95 % para eliminar las virutas e impurezas que quedan tras el taladrado.

Para la soldadura de componentes SMD, es necesario colocar pasta de soldar sobre los pads de los componentes, antes de introducir la placa en el horno de soldadura. Luego se colocan los componentes sobre la pasta de soldar y se procede al horneado de la placa.

Una posible mejora para facilitar el proceso de soldadura consistiría en aplicar una máscara de soldadura sobre la placa.

En la Figura 5.4 se muestra el perfil de soldadura usado.

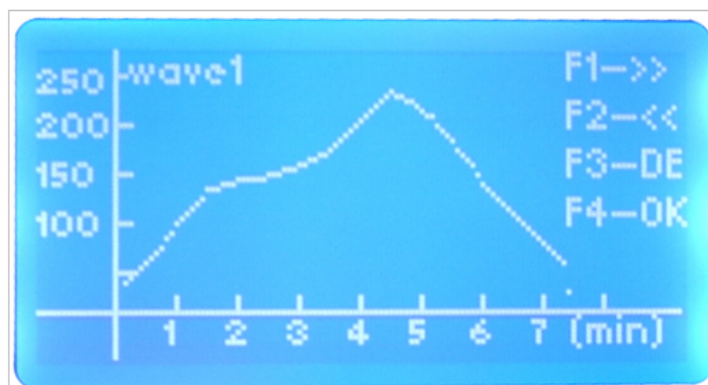


Figura 5.4: Perfil de soldadura del T962 de Puhui Technology

Posterior al proceso de horneado, se ha soldado a mano una serie de componentes (conectores y tira de pines de Arduino), debido a que no están fabricados para soportar las altas temperaturas del horno.

Para soldar las vías se ha aplicado estaño a un hilo conductor que atraviesa el orificio.

Nuevamente se comprueba la continuidad del circuito, pero esta vez con todos los componentes incorporados y comprobando la ausencia de cortocircuitos que puedan afectar al correcto funcionamiento de la placa.

Como resultado, se obtiene la PCB que se observa en la Figura 5.5.

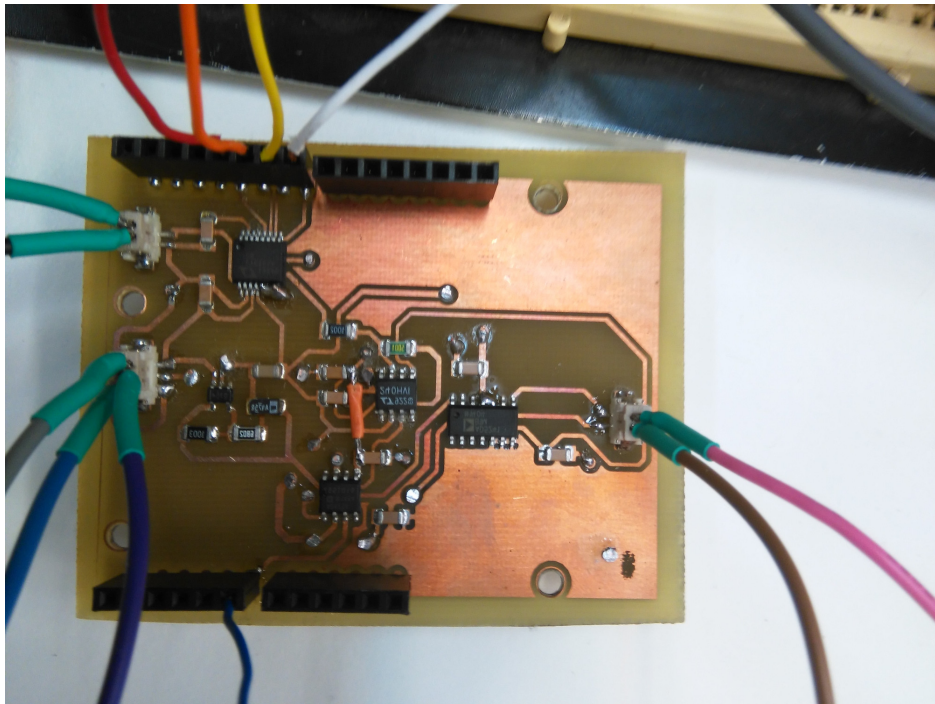


Figura 5.5: Placa terminada

Capítulo 6

Ensayos y Comprobaciones

Una vez montada la PCB, se han realizado diferentes pruebas a fin de asegurar el correcto funcionamiento del sistema. Dichas pruebas van dirigidas a garantizar el funcionamiento del prototipo, y las discrepancias de comportamiento que puedan tener lugar respecto de los cálculos y simulaciones que se han planteado. Este estudio se realiza de cara a identificar fallos de diseño que, en futuros prototipos, puedan ser subsanados. En definitiva, se trata de un proceso de mejora basado en pruebas de ensayo-error.

6.1. Selección de frecuencias del filtro antialiasing

La programación de la frecuencia del filtro antialiasing se realiza por medio de una palabra de 4bits. Para cambiar los valores se ha situado una línea de la protoboard a 3.3V y otra a tierra, asignándoles 1 y 0 lógico respectivamente. En el laboratorio, se han conmutado manualmente los diferentes valores de frecuencia. Una vez el dispositivo esté en funcionamiento, dicho control se realizará de forma remota. En la Figura 6.1 se muestran los valores de frecuencias asociados a cada palabra digital.

6.2. Comprobación de Funcionamiento del Prototipo

Para analizar el comportamiento real del circuito se ha introducido en la placa una señal de características semejantes a la utilizada en la simulación. Dicha señal consta de una amplitud de $1,8V_p$ ¹ y una frecuencia de $50kHz$. Se ha elegido no introducir un segundo tono en una frecuencia superior a la frecuencia de corte del filtro, sino en su defecto, regular la frecuencia de corte para comprobar si,

¹Se ha reducido ligeramente el valor, ya que los valores de ganancia del amplificador son discretos y no permiten llegar exactamente al margen del conversor A/D.

Table 1

F3	F2	F1	F0	NOMINAL F_c (CUTOFF FREQUENCY)
(AT OUTPUT OF INTERNAL LATCH)				
0	0	0	0	0 (Mute State: Filter Gain is Zero)
0	0	0	1	10kHz
0	0	1	0	20kHz
0	0	1	1	30kHz
0	1	0	0	40kHz
0	1	0	1	50kHz
0	1	1	0	60kHz
0	1	1	1	70kHz
1	0	0	0	80kHz
1	0	0	1	90kHz
1	0	1	0	100kHz
1	0	1	1	110kHz
1	1	0	0	120kHz
1	1	0	1	130kHz
1	1	1	0	140kHz
1	1	1	1	150kHz

Figura 6.1: Relación de frecuencias de corte con palabra digital del filtro antialiasing

por encima de ese valor, las señales son atenuadas correctamente. Asimismo, se ha aplicado el valor de ganancia teórico obtenido para el amplificador forzando a que la señal de salida se encuentre dentro del margen de 3.3V del convertor A/D. De esta forma, resulta más sencillo realizar una primera comparación entre los valores de simulación y valores obtenidos experimentalmente.

En la Figura 6.2 se puede observar la salida del amplificador de instrumentación tras aplicar en la entrada de la placa el tono mencionado. En la salida debería haberse obtenido un tono con la misma frecuencia que la señal de entrada y una tensión de 1.65V con una componente de continua de 1.65V. Sin embargo, al observar atentamente la señal, se puede apreciar que a pesar de no ser una señal senoidal, posee todos los valores esperados en amplitud, frecuencia, y offset.

Tras varios ensayos, se llega a la conclusión de que el problema se encuentra en el amplificador de instrumentación, ya que las demás señales muestran un comportamiento muy semejante al esperado. La anomalía se debe al *slew rate* del amplificador. En la hoja de datos del AD623 se especifica que el *slew rate* mínimo para una tensión de alimentación de $\pm 5V$, tiene lugar con una ganancia de 1, y es de $0,17V/\mu s$. Tal y como está diseñado el sistema, existe un punto a partir del cual dicha condición no se cumple, y es aquel en el que la salida cambia de 0 a $3.3V^2$ en un intervalo de tiempo muy pequeño. Se deduce que existe un límite en

²Rango máximo de cambio asumible por el INA a la salida

frecuencia si se asume que la señal de salida coincide con los márgenes del CAD.

Ya que la salida es un tono a la frecuencia de la señal de entrada, se puede modelar como

$$f(t) = A \sin(\omega t) \quad (6.1)$$

donde A es la amplitud, y ω la frecuencia. Si se deriva la expresión respecto del tiempo:

$$\frac{df}{dt} = A\omega \cos(\omega t) \quad (6.2)$$

La máxima pendiente que puede alcanzar la señal es de $A\omega$, por lo tanto, al igualar dicha expresión al *slew rate*, si se asume que la salida alcanza el valor de máxima amplitud, se puede obtener el valor límite de la frecuencia a la que aparece la triangulación.

$$SR = \frac{A}{\omega} \quad (6.3)$$

$$f = \frac{1}{2\pi} \frac{SR}{A} \quad (6.4)$$

Sustituyendo SR como $0,17V/\mu$ y A como $1,65V$:

$$f = \frac{1}{2\pi} \frac{0,17V/\mu}{1,65V} = 0,16391/\mu s = 16,39kHz \quad (6.5)$$

Como se observa en la ecuación 6.5, la frecuencia máxima a la que la salida no supera el *slew rate* es de $16,39kHz$. En la práctica se recomienda no tomar valores de ganancia lo suficientemente elevados como para que la señal de salida supere, para una frecuencia dada, los valores de tensión que hagan que la señal supere el valor de *slew rate* del amplificador de instrumentación.

El valor de *slew rate* necesario en el INA para que no se produzca este efecto en las condiciones de frecuencia y amplitud de salida máxima se calcula de la misma manera. Por lo tanto:

$$SR = 2\pi \times A \times f = 2\pi \times A \times \frac{1}{T} = 2\pi \times 3,3V \times \frac{1}{10^5} = 207,35V/\mu s \quad (6.6)$$

Para evitar el efecto de *slew rate* en el amplificador de instrumentación, se ha reducido a $0,1V_p$ la amplitud del tono de entrada al sistema manteniendo la frecuencia de $50kHz$, ya que los valores de ganancia no permitirán alcanzar señales de amplitud lo suficientemente grande como para que se produzca dicho efecto.

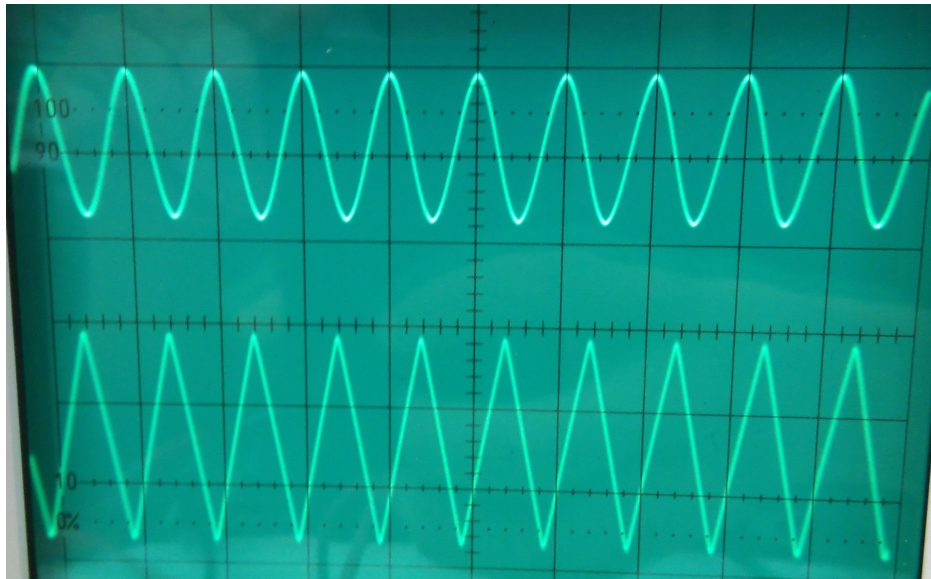


Figura 6.2: Arriba: Señal de entrada, un tono de 50KHz. Abajo: Señal triangular a la salida del sistema. La escala vertical del osciloscopio es de 1V/div.

En las Figuras [6.3], [6.4], y [6.5] se muestran los resultados obtenidos para la nueva señal de entrada ³. Para esta prueba se ha elegido el factor de ganancia máximo, es decir, se ha transmitido una palabra digital de 255 a la resistencia programable. Como se puede observar, el efecto de señal triangular a la salida ha desaparecido y se ha conseguido una amplificación de aproximadamente 25 veces la señal de entrada al sistema.

6.3. Comparación de ganancia teórica con la experimental

Como se ha mencionado en el Capítulo 3, la ganancia del amplificador de instrumentación queda bajo control de la resistencia programable o potenciómetro digital. Se establece, por tanto, una relación entre la ganancia del sistema y la palabra digital con la que se programa la resistencia. Dicha relación se recoge en la ecuación 6.7, donde R_g es la resistencia que determina la ganancia del amplificador y en el caso particular del circuito, se trata del potenciómetro digital cuyo valor nominal es de $1M\Omega$. La resistencia se controla con una palabra digital de ocho bits que permite ajustar la posición del cursor, permitiendo acceder a diferentes valores de resistencia.

³La señal superior es la entrada y la inferior la salida de cada etapa

6.3. COMPARACIÓN DE GANANCIA TEÓRICA CON LA EXPERIMENTAL63

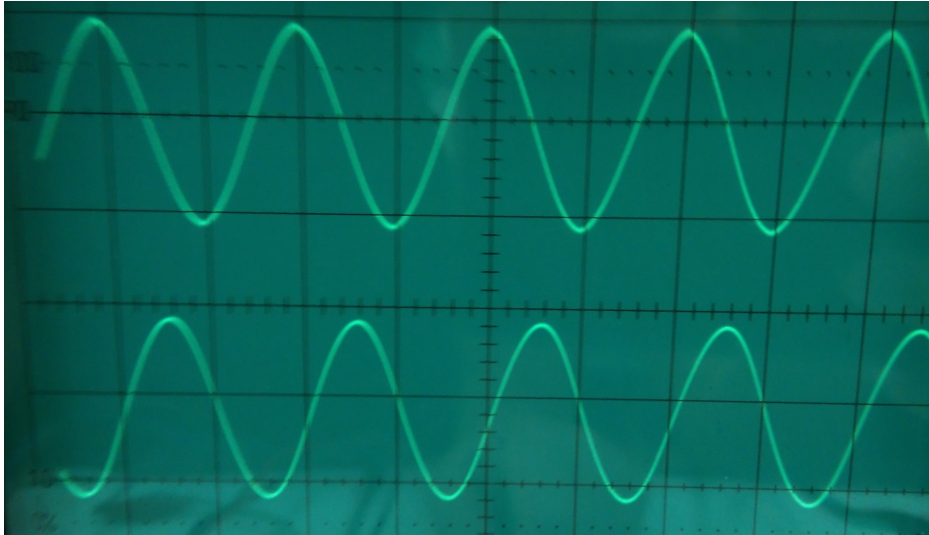


Figura 6.3: Arriba: Señal a la entrada. Abajo: Señal a la salida del filtro LTC1564. La escala vertical del osciloscopio es de $0,1V/div$.

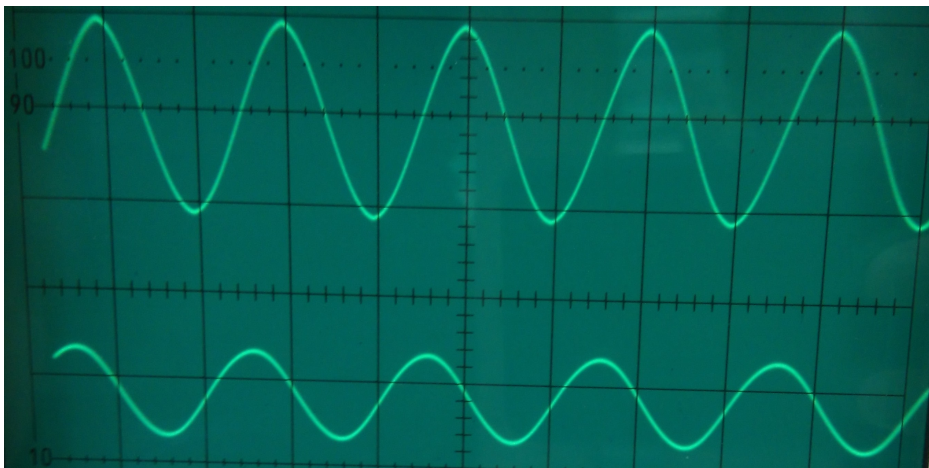


Figura 6.4: Arriba: Señal a la entrada. Abajo: Señal a la salida del amplificador inversor LTC6240. La escala vertical del osciloscopio es de $0,1V/div$.

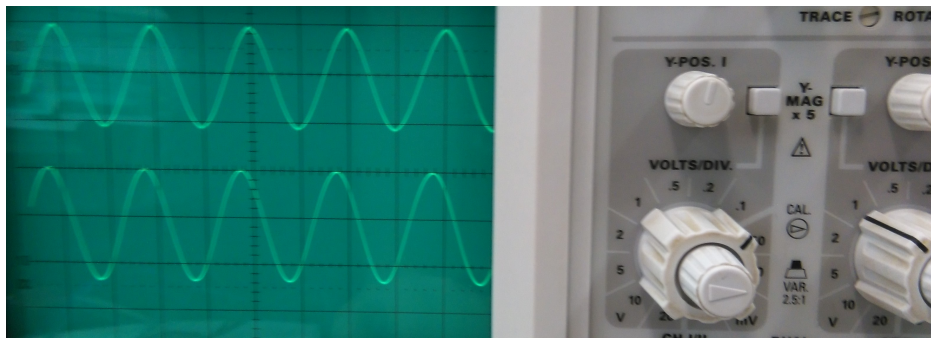


Figura 6.5: Señales de entrada y salida al amplificador de instrumentación AD623. Arriba: Señal a la entrada con la escala vertical del canal 1 del osciloscopio a $0,1V/div$. Abajo: Señal a la salida con la escala vertical del canal 2 del osciloscopio a $1V/div$.

$$A = \left(1 + \frac{100k\Omega}{R_g} \right) \quad (6.7)$$

$$R_{aw} = \left(1 - \frac{D}{256} \right) \times R_{ab} + R_w \quad (6.8)$$

$$R_{bw} = \frac{D}{256} \times R_{ab} + R_w \quad (6.9)$$

Se ha hecho uso del Arduino Uno como elemento de control encargado de regular el valor de la resistencia programable y consecuentemente, el valor de la ganancia. Para ello se ha hecho uso del protocolo I2C⁴. Haciendo uso de la librería *Wire.h* de arduino, se ha simulado una comunicación con el dispositivo para transmitir los valores de resistencia deseados. El código utilizado se encuentra en el Anexo B.2.

En este apartado se realiza un análisis de los valores obtenidos experimentalmente en el laboratorio frente a los obtenidos teóricamente. Para ello, con el mismo montaje presentado anteriormente, se ha tomado una muestra de la amplitud de la tensión de la señal de salida. Conociendo el valor de entrada del amplificador de instrumentación, la ganancia es un parámetro que se puede calcular de forma inmediata realizando el cociente entre ambas amplitudes. Para conocer la desviación de los valores experimentales respecto a los teóricos se ha aplicado teoría de propagación de errores.

⁴Nótese que la función *beginTransmission()* solo necesita como parámetro de entrada la dirección del dispositivo esclavo, en este caso los primeros 7bit de la palabra de dirección, ya que asume que el último bit, es decir el de escritura, va a estar a baja, permitiendo escribir sobre el componente

6.3.1. Cálculo de ganancias e incertidumbre

Toda medida realizada conlleva una incertidumbre asociada. Si dicha medida es utilizada para calcular un parámetro, la presencia de la incertidumbre se propagará al nuevo parámetro. El estudio de la propagación de errores permite asociar un error de forma cuantitativa a las magnitudes calculadas a través de otras magnitudes medidas. En el caso de nuestro sistema, el objetivo es conocer la desviación de los valores de ganancia experimentales en relación a los teóricos. De esta forma, el sistema puede ajustarse de tal manera que a la hora de realizar su actividad el error sea minimizado.

Para una función $f(x,y) = z$, el valor del error viene dado por la expresión en la ecuación [6.10].

$$\Delta z = \left| \frac{\delta f}{\delta x} \right| \Delta x + \left| \frac{\delta f}{\delta y} \right| \Delta y \quad (6.10)$$

En el caso de la ganancia, la fórmula viene dada por $A = \frac{V_{OUT}}{V_{IN}}$. Si aplicamos la expresión de la ecuación [6.10] donde ΔV_{IN} y ΔV_{OUT} coinciden con las incertidumbres de las respectivas medidas y ΔA con el error en la ganancia Si se desarrolla la expresión de la ecuación [6.10]. En un Anexo se adjunta la tabla con los cálculos realizados.

$$\Delta A = \left| \frac{\delta A}{\delta V_{OUT}} \right| \Delta V_{OUT} + \left| \frac{\delta A}{\delta V_{IN}} \right| \Delta V_{IN} \quad (6.11)$$

$$\Delta A = \frac{1}{V_{IN}} \times \Delta V_{OUT} + \frac{V_{OUT}}{V_{IN}^2} \times \Delta V_{IN} \quad (6.12)$$

6.4. Interpretación de los resultados obtenidos

En la Figura 6.6 se representan las ganancias teóricas y experimentales para los diferentes valores de palabras digitales. A primera vista, puede parecer que son iguales, pero los valores experimentales se encuentran levemente por encima de los teóricos. De acuerdo a la Tabla incluida en el Anexo C.2, la desviación entre las ganancias experimental y teórica es inferior al error obtenido al calcular dicha ganancia haciendo uso de los valores recogidos en el laboratorio. Esto significa que la desviación entre datos experimentales y reales obtenida depende de un error no contemplado en los parámetros teóricos. Como no existe ningún otro elemento pasivo que pueda presentar una tolerancia que afecte al comportamiento del amplificador de instrumentación AD623 además del potenciómetro digital, se deduce que dicho error procede de los parámetros de ambos componentes.

Los parámetros que pueden manifestar una tolerancia y por tanto afectar al valor teórico aumentando la desviación son:

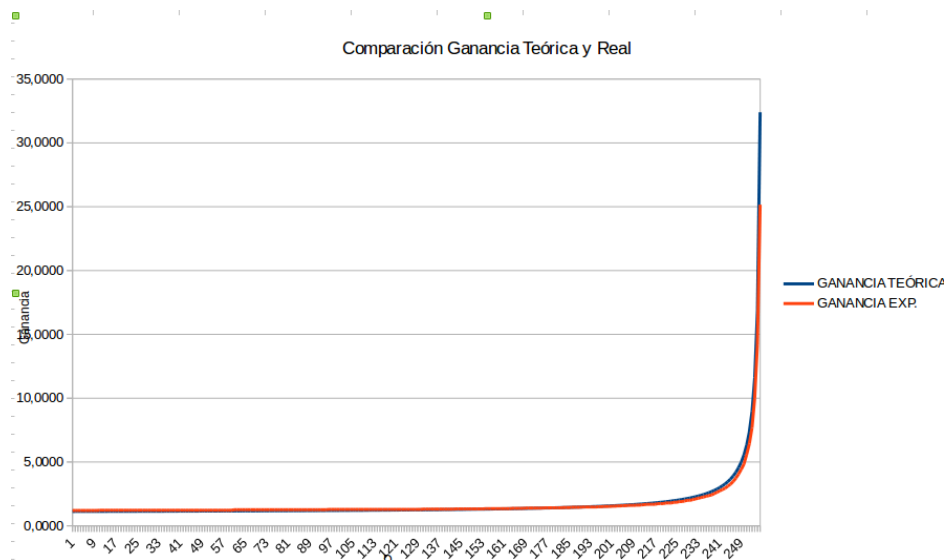


Figura 6.6: Comparación de la ganancia experimental frente a la teórica

- Resistencia total del potenciómetro digital, R_{ab}
- Resistencia aportada por el cursor del potenciómetro, R_w
- Resistencia de la patilla de referencia del amplificador de instrumentación, R_{ref} .

En la Tabla 6.1 se recogen las tolerancias para cada parámetro.

Parámetro	R_{ab}	R_w	R_{ref}
Tolerancia	1 %	No se especifica	0.1 % a 1 %

Tabla 6.1: Tolerancias de los parámetros que se relacionan con la ganancia teórica del AD623

En definitiva, el proceso de toma de muestras ha revelado una discrepancia en el comportamiento de la circuitería no contemplado en los cálculos. Se ha debido en gran parte a no tomar en debida cuenta la presencia de diferentes tolerancias en parámetros que afectan a los cálculos teóricos. Sin embargo, una vez identificado el origen del error, el interés principal de este apartado recae en obtener los valores experimentales de ganancia y su equivalencia a la palabra digital, de tal forma que queden tabulados y se pueda hacer uso de ellos para programar el Amplificador AD623.

6.5. Mejoras del Prototipo

El prototipo obtenido no es capaz de muestrear señales superiores a una frecuencia de 16.39kHz si la señal de salida tiene máxima excursión. A pesar de que este efecto puede reducirse a costa de la amplitud de la señal de la salida, de cara a un futuro prototipo se debe sustituir el amplificador de instrumentación por otro cuyo *slew rate* sea superior a $207,35V/\mu s$. De esta manera, sería posible muestrear hasta señales de 100kHz adecuando la señal de salida a los márgenes del conversor A/D.

Conclusiones

El objetivo de este Trabajo de Fin de Grado ha consistido en diseñar, dimensionar y desarrollar un circuito capaz de actuar como etapa de adaptación de señales a fin de ser muestreadas y digitalizadas. A continuación se exponen las conclusiones extraídas a lo largo del desarrollo del proyecto.

1. Se ha realizado una PCB que se ajusta en gran medida a los requisitos impuestos en el diseño. Sin embargo, en un diseño futuro es necesario corregir el efecto de señal triangular producido a la salida, debido al *Slew Rate* del amplificador de instrumentación.
2. Es posible hacer uso de la combinación de potenciómetro digital y amplificador de instrumentación programable por resistencia para imitar el comportamiento de un amplificador de instrumentación programable digitalmente, si bien el valor de ganancia respecto de la palabra digital no es lineal.
3. El uso del protocolo I2C para controlar la tarjeta desarrollada ha sido de gran ayuda, ya que es un protocolo cuya implementación no necesita un montaje excesivamente complejo y permite al usuario regular con precisión ciertos parámetros que de otra forma no sería posible.
4. El proceso de fabricación de una PCB conlleva una serie de riesgos para la salud, por lo que se ha hecho uso de equipo de protección especial.
5. El uso de herramientas de software y hardware libre y toda la comunidad detrás de ellas ha facilitado el desarrollo de este TFG. Cabe destacar Kicad como una plataforma de desarrollo y diseño de PCB suficientemente versátil para llevar a cabo el diseño mostrado.

Conclusions

The purpose of this Final Project is about designing, dimensioning and developing a circuit able to act as an adaptation stage for signals, for the purpose of being sampled and digitalized. Many conclusions are extracted along the course of the Project

1. The PCB made fits to a large degree the design requirements. However, it is very important to eliminate the triangular shape in the output signal caused by an incorrect *Slew Rate* in the instrumentation amplifier.
2. Using a digital potentiometer attached to the instrumentation amplifier to simulate a digitally programmable instrumentation amplifier worked perfectly. However, this setup forces us to program the instrumentation amplifier with no linearity.
3. Programming the digital potentiometer was easy because of the use of I2C protocol, because it doesn't need of an elaborated setup and allows the user to tweak some parameters that in other instances wouldn't be possible.
4. The PCB fabrication process carries lots of health hazards, so it's important to wear protective gear.
5. Open Source tools and the community in charge of them have made this Final Project come to reality. One of this tools is Kicad, which is a developing and designing platform able to carry on the before mentioned design.

Bibliografía

- [1] Allan R. Hambley. *Electrónica*. 2.^a ed. Pearson, Prentice Hall, 2001.
- [2] Paola Laiolo. “The emerging significance of bioacoustics in animal species conservation”. En: *Biological Conservation* 143.7 (2010). Conservation planning within emerging global climate and economic realities, págs. 1635-1645. ISSN: 0006-3207. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.biocon.2010.03.025>. URL: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S000632071000114X>.
- [3] J. Blum. *Exploring Arduino. Tools and Techniques for Engineering Wizardry*. 2.^a ed. Wiley, 2013.
- [4] *Información sobre amplificadores de instrumentación*. URL: www.ctr.unican.es/asignaturas/instrumentacion_5_it/iec_3.pdf.
- [5] *Información sobre el bus I2C*. URL: <https://es.wikipedia.org/wiki/I%C2%B2C>.
- [6] *Información sobre material de laboratorio*. URL: http://www.reproccircuit.com/imagenes/productos/pag_1_15_3_prot.pdf.
- [7] *Información sobre ondas sonoras asociadas a la voz*. URL: https://es.wikipedia.org/wiki/Se%C3%B1al_de_voz.
- [8] *Información y modelo SPICE del componente AD623*. URL: <http://www.analog.com/en/products/amplifiers/instrumentation-amplifiers/ad623.html#product-overview>.
- [9] *Plantilla para Kicad de arduino*. URL: <http://www.thingiverse.com>.
- [10] *Proceso de atacado de la placa*. URL: <http://ce-granollers.com/atacado1.htm>.
- [11] *Programación de potenciómetro digital por medio de Arduino*. URL: <https://www.arduino.cc/en/Tutorial/DigitalPotentiometer>.
- [12] *Página principal de Arduino*. URL: <https://www.arduino.cc/>.
- [13] *Traductor*. URL: <https://translate.google.es/>.

- [14] *Tutoriales e información sobre Kicad*. URL: <https://contextualelectronics.com/course/kicad-tutorial/>.

Parte II

Pliego de condiciones y presupuesto



Universidad
de La Laguna

Escuela Superior de
Ingeniería y Tecnología
Sección de Ingeniería Industrial

ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA
Y TECNOLOGÍA

Trabajo de Fin de Grado

**Diseño y fabricación de un shield tipo arduino de la
etapa analógica de adaptación y filtrado de un
sistema de adquisición**

TOMO II

Pliego de condiciones y presupuesto

Titulación:

Grado en Ingeniería Electrónica Industrial y Automática

Alumnos:

Gustavo Alejandro Castaño González
David Carmona Ballester

Tutores:

Fernando Luis Rosa González
José Carlos Sanluis Leal

7 de septiembre de 2015

Capítulo 7

Pliego de condiciones

En este capítulo se recoge el conjunto de normas y acciones que se deberán llevar a cabo en la realización del proyecto. Los trabajos de elaboración del proyecto se llevarán a cabo en el laboratorio, donde se dispondrá de todo el material y equipos necesarios para la realización del mismo.

Se utilizarán herramientas de software y hardware libre para la realización del proyecto y la posterior utilización del dispositivo, siempre que exista posibilidad. Cuando no exista posibilidad se aportará una justificación.

Capítulo 8

Presupuesto del proyecto

Componente	Cantidad	Precio/Unidad	Precio total
Resistencia de 5k Ω	1	0.54 €	0.54 €
Resistencia de 10k Ω	1	0.05 €	0.05 €
Resistencia de 68k Ω	1	0.033 €	0.033 €
Resistencia de 100k Ω	1	0.05 €	0.05 €
Condensador de 1 μ F	1	0.27 €	0.27 €
Condensador de 0.1 μ F	8	0.038 €	0.304 €
Condensador electrolítico de 4.7 μ F	1	0.173 €	0.173 €
Regulador de tensión TPS76201	1	1.27 €	1.27 €
Amplificador de instrumentación AD623	1	3.56 €	3.56 €
Resistencia programable AD5241	1	2.39 €	2.39 €
Filtro LTC1564	1	17.23 €	17.23 €
Amplificador operacional LTC6240	1	3.19 €	3.19 €
Conector DefC-2P-1.25V	2	0.47 €	0.94 €
Conector DefC-3P-1.25V	1	0.53 €	0.53 €
Tira de pines macho-hembra 6 vías	2	0.605 €	1.21 €
Tira de pines macho-hembra 8 vías	2	0.605 €	1.21 €
Transparencias	2	0.50 €	1.00 €
Horas trabajadas David	300	10.00 €	3000.00 €
Horas trabajadas Gustavo	300	10.00 €	3000.00 €

Tabla 8.1: Tabla de costes

El presupuesto total del proyecto asciende a 6033.95€.

Parte III

Anexos



Universidad
de La Laguna

Escuela Superior de
Ingeniería y Tecnología
Sección de Ingeniería Industrial

ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA
Y TECNOLOGÍA

Trabajo de Fin de Grado

**Diseño y fabricación de un shield tipo arduino de la
etapa analógica de adaptación y filtrado de un
sistema de adquisición**

TOMO III

Anexos

Titulación:

Grado en Ingeniería Electrónica Industrial y Automática

Alumnos:

Gustavo Alejandro Castaño González
David Carmona Ballester

Tutores:

Fernando Luis Rosa González
José Carlos Sanluis Leal

7 de septiembre de 2015

Apéndice A

Esquemáticos

A.1. Esquemático Kicad

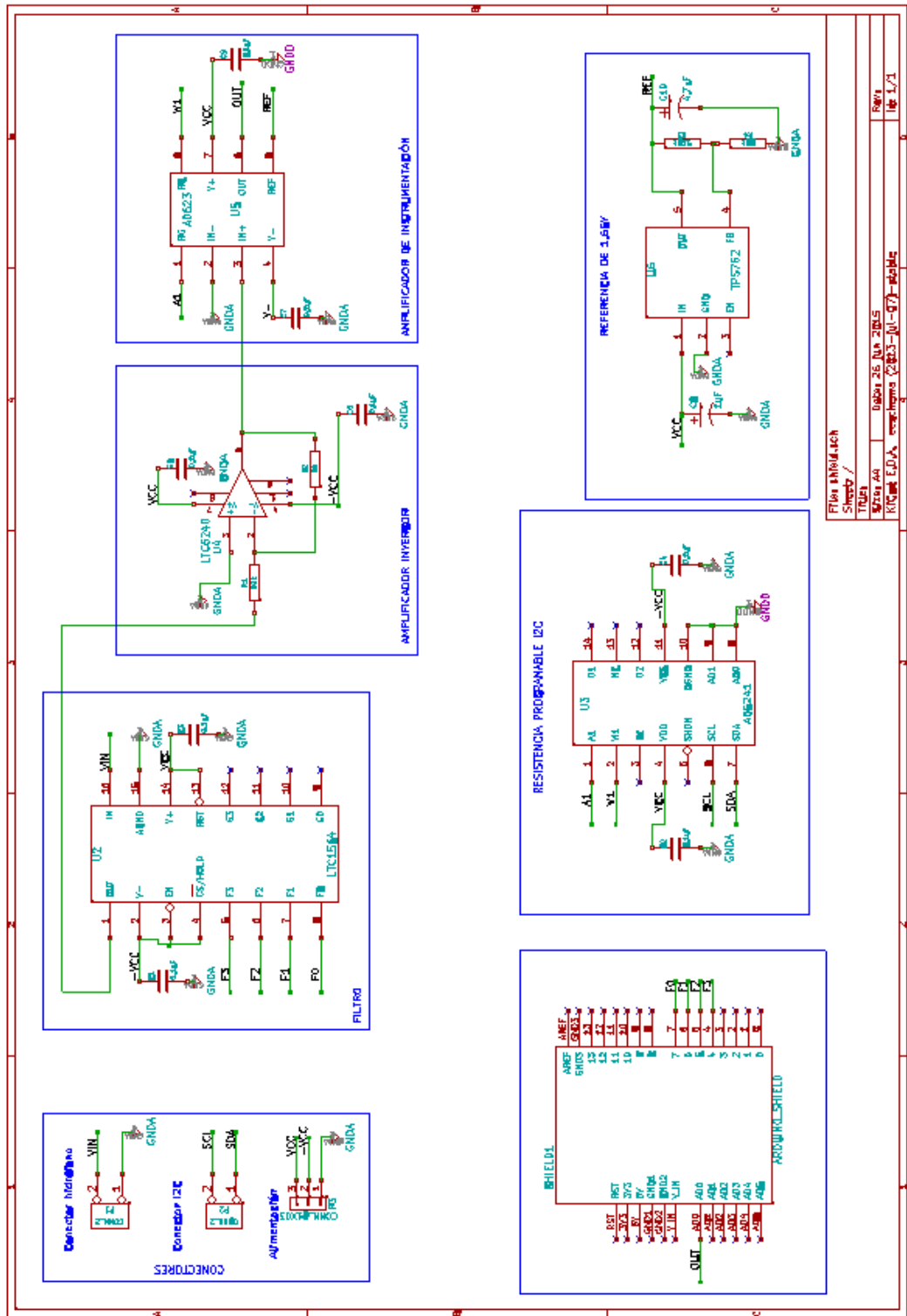


Figura A.1: Esquemático realizado en Kicad

A.2. Esquemático Simulación

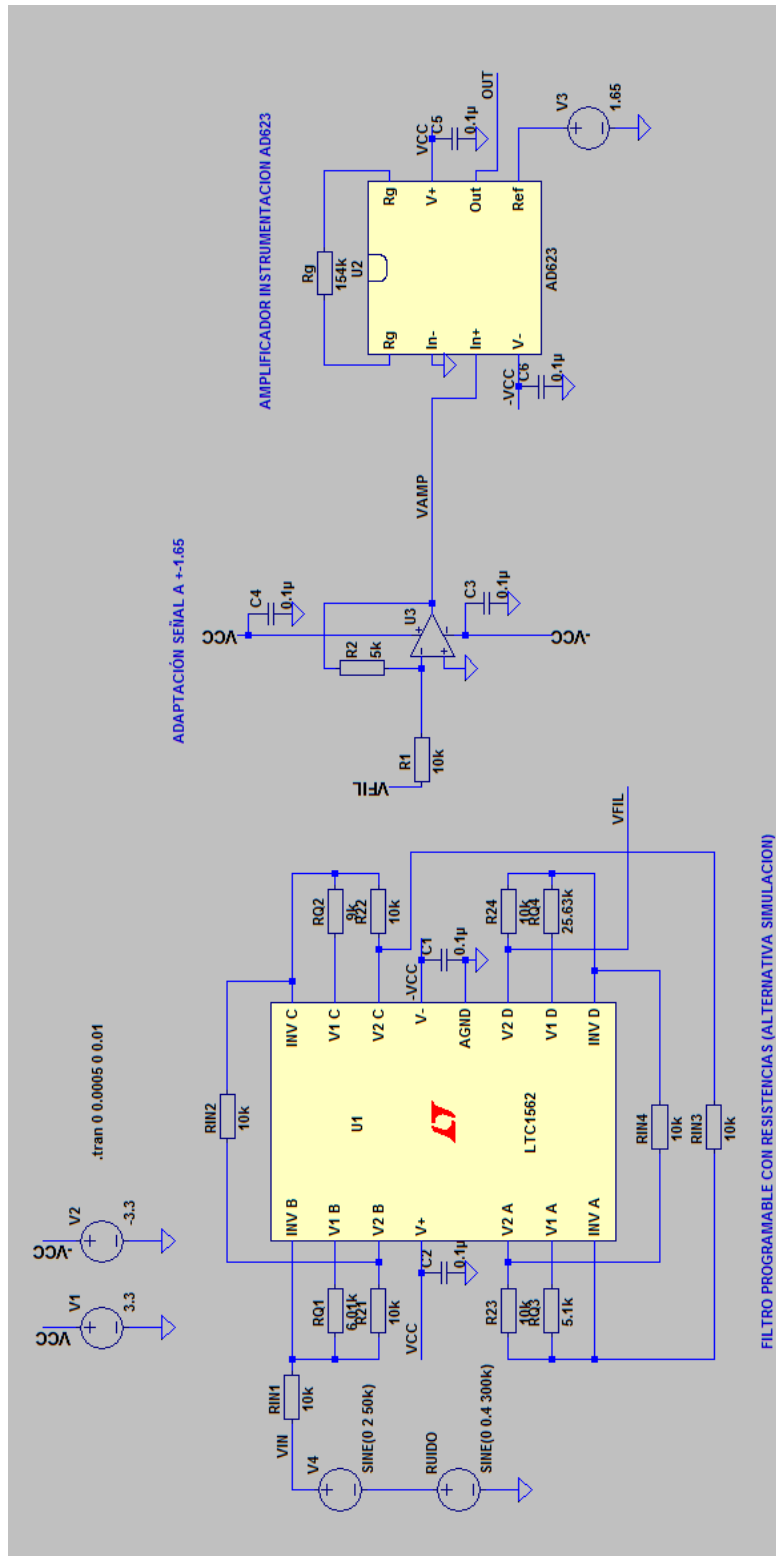


Figura A.2: Esquemático de la Simulación

A.3. Layout

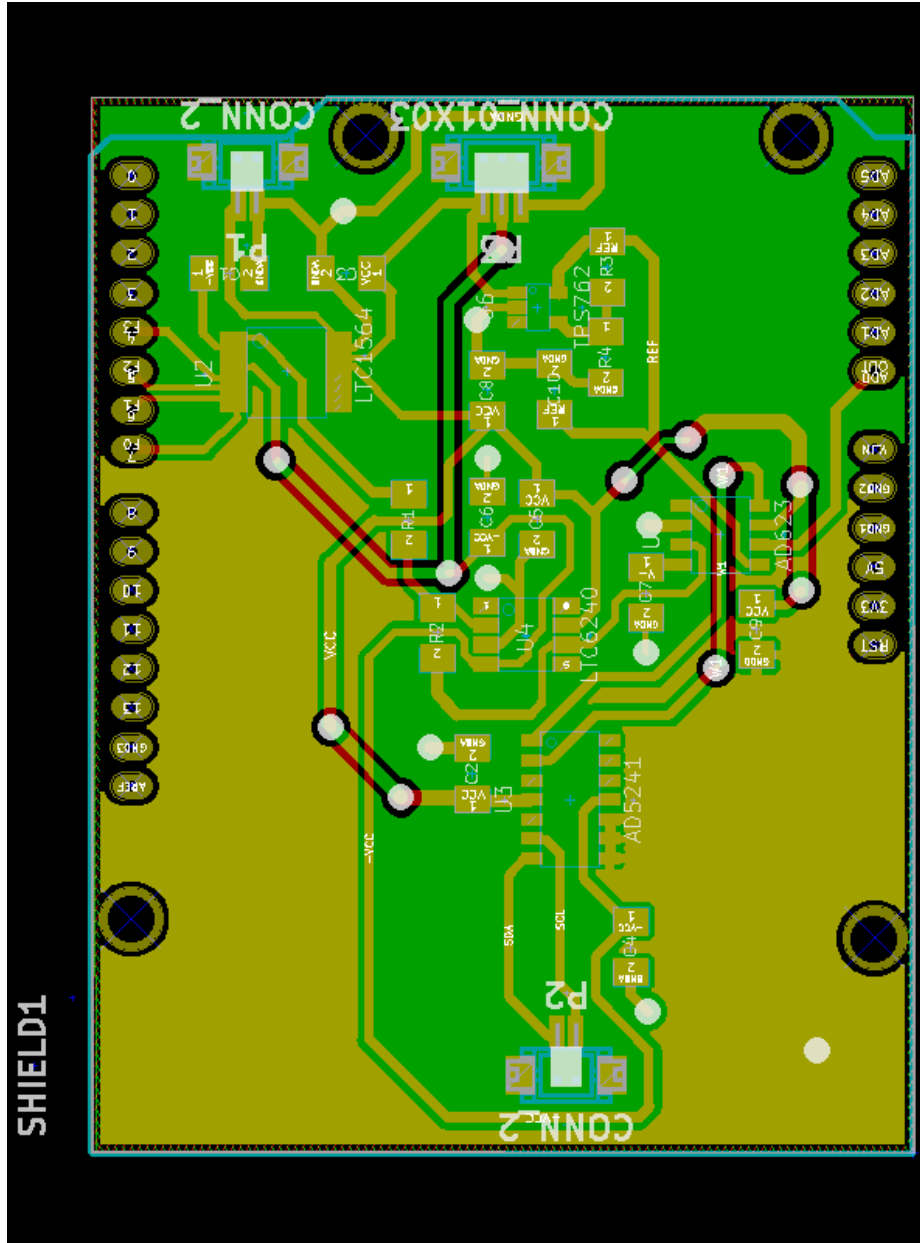


Figura A.3: Layout obtenido de Kicad

A.4. Fotolito capa Top

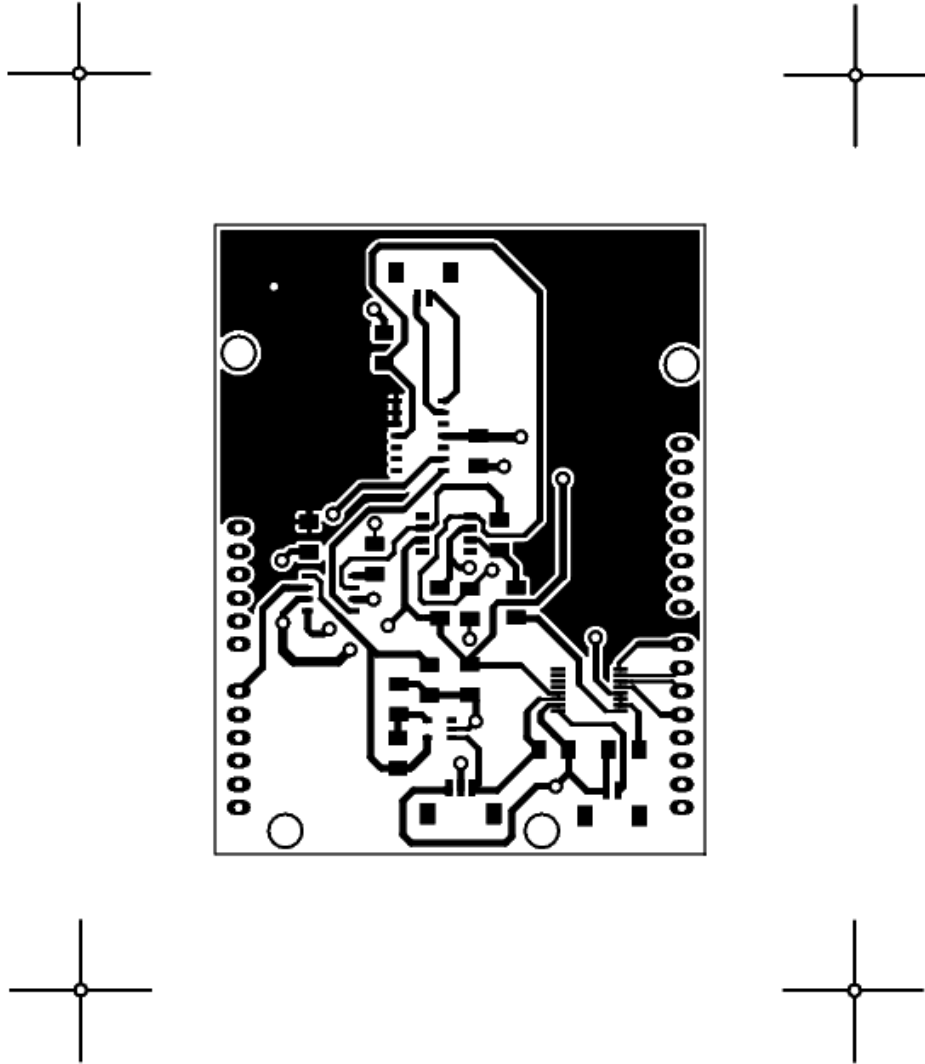


Figura A.4: Fotolito empleado para insolar la capa Top

A.5. Fotolito capa Bottom

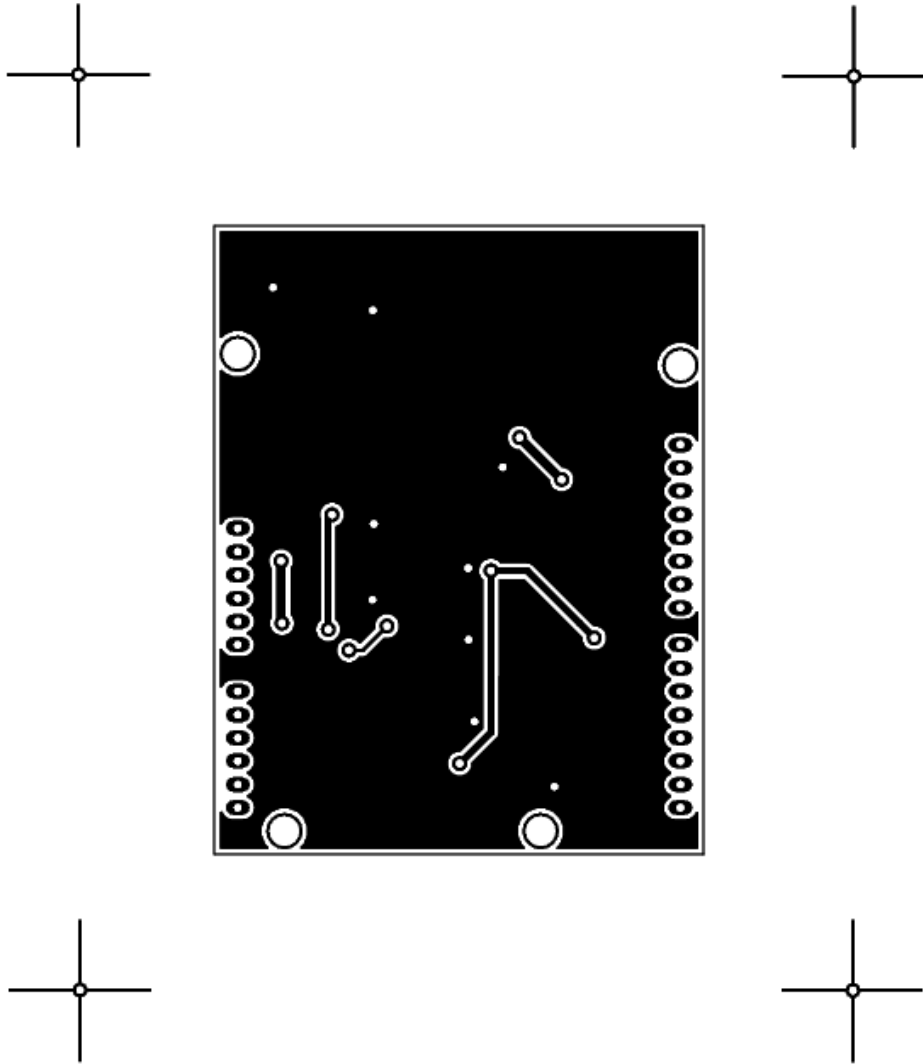


Figura A.5: Fitolito empleado para insolar la capa Bottom

Apéndice B

Scripts

B.1. Cálculo de resistencias de LTC1562 en simulación

```
1 function [] = calculo_resistencias_filtro(fc,A)
2
3     R21=10*(100/fc)^2;
4     RIN1=R21;
5     RQ1=6.01*(100/fc);
6     R22=10*(100/fc)^2;
7     RIN2=R22;
8     RQ2=9*(100/fc);
9     R23=10*(100/fc)^2;
10    RIN3=R23;
11    RQ3=5.1*(100/fc);
12    R24=10*(100/fc)^2;
13    RIN4=R24;
14    RQ4=25.63*(100/fc);
15
16    G=2*(1.65/A); % Ganancia del amplificador
17    Rg=100/(G-1);
18
19    save('val_sim.txt'); % Guarda los valores en val_sim.txt
```

B.1.1. Output

```
1 # Created by Octave 3.8.1, Fri Apr 17 17:29:45 2015 WEST ...
   <david@david-Aspire-5750G>
2 # name: A
3 # type: scalar
```

```
4 2
5
6
7 # name: G
8 # type: scalar
9 1.65
10
11
12 # name: R21
13 # type: scalar
14 10
15
16
17 # name: R22
18 # type: scalar
19 10
20
21
22 # name: R23
23 # type: scalar
24 10
25
26
27 # name: R24
28 # type: scalar
29 10
30
31
32 # name: RIN1
33 # type: scalar
34 10
35
36
37 # name: RIN2
38 # type: scalar
39 10
40
41
42 # name: RIN3
43 # type: scalar
44 10
45
46
47 # name: RIN4
48 # type: scalar
49 10
50
51
52 # name: RQ1
```

```
53 # type: scalar
54 6.01
55
56
57 # name: RQ2
58 # type: scalar
59 9
60
61
62 # name: RQ3
63 # type: scalar
64 5.1
65
66
67 # name: RQ4
68 # type: scalar
69 25.63
70
71
72 # name: Rg
73 # type: scalar
74 153.8461538461539
75
76
77 # name: argn
78 # type: sq_string
79 # elements: 2
80 # length: 3
81 100
82 # length: 3
83 1
84
85
86 # name: fc
87 # type: scalar
88 100
```

B.2. Código Arduino

```
1 /* Programacion de potenciómetro digital por medio de I2C */
2 // Usar pines A4(SDA) y A5(SCL) para Arduino Uno. A adir ...
   resistencias pull-up a 5V
3 // Usar pines 2(SDA) y 3(SCL) para Arduino Leonardo
4
5 #include <Wire.h>
6
```

```
7 byte data = 0b00000000; // Posicion del potenciometro. ...
  Puede ir desde 0 hasta 255
8 byte instruction = 0b00000000; // Byte de instruccion
9 byte address = 44; // Direccion del potenciometro
10
11 float A;
12 float num;
13 float den;
14
15 void setup(){
16
17   Serial.begin(9600);
18
19   Wire.begin(); // Maestro se une a bus I2C. No se ...
     especifica direccion porque
     // no es necesaria para escribir en esclavo
20
21
22
23   Wire.beginTransmission(address); // Inicio transmision a ...
     esclavo
24
     // El bit de ...
     escritura se ...
     activa a baja
25   Wire.write(instruction); // Byte de instruccion
26
27   Wire.write(data); // Byte de datos
28
29   Wire.endTransmission(); // Se deja de transmitir
30
31 }
32
33 void loop()
34 {
35
36
37   // Calculo de ganancia
38   float data_temp = (float) data;
39
40   num = 100;
41   den = 1000 * (1 - data_temp/256);
42   A = 1 + (num/den);
43
44   // Muestro los paquetes enviados por el Serial
45
46   Serial.println("ADDRESS INSTRUCTION DATA");
47
48   Serial.print(address);
49   Serial.print(" ");
50
```

```
51 Serial.print(instruction);
52 Serial.print("          ");
53
54 Serial.println(data);
55
56 Serial.print("GANANCIA: ");
57 Serial.println(A);
58
59 // Recojo valor por el Serial en caso de que me interese ...
   // cambiar la posicion del cursor
60
61 if ( Serial.available() > 0 )
62 {
63     data = Serial.parseInt();
64     Wire.begin(); // Maestro se une a bus I2C. No se ...
   // especifica direccion porque
65     // no es necesaria para escribir en esclavo
66
67
68     Wire.beginTransmission(address);
69
70     Wire.write(instruction);
71
72     Wire.write(data);
73
74     Wire.endTransmission();
75
76 }
77
78 delay(500);
79 }
```


Apéndice C

Tablas

C.1. Tabla de componentes con huellas SMD

CANTIDAD	COMPONENTE	VALOR	HUELLA	FABRICANTE
8	Condensador	0,1 μF	C_1206_HandSoldering	4 Hirose Electric Co Ltd Hirose Electric Co Ltd Linear Technology Analog Devices Linear Technology Analog Devices Texas Instruments
1	Condensador electrolítico	1 μF	C_1206_HandSoldering	
1	Condensador electrolítico	4,7 μF	C_1206_HandSoldering	
1	Resistencia	10 k Ω	R_1206_HandSoldering	
1	Resistencia	5 k Ω	R_1206_HandSoldering	
1	Resistencia	100 k Ω	R_1206_HandSoldering	
1	Resistencia	68 k Ω	R_1206_HandSoldering	
2	Conector 2 pines	-	DF13-2P-1.25H(20)	
1	Conector 3 pines	-	DF13-3P-1.25H(20)	
1	LTC1564	-	G Package 16-Lead Plastic SSOP (5.3mm)	
1	AD5241	-	SOIC_N	
1	LTC6240	-	S8 Package 8-Lead Plastic Small Outline (Narrow .150 Inch)	
1	AD623	-	SOIC_N	
1	TPS76201	-	SOT-23	

Tabla C.1: Tabla de componentes con huella SMD

C.2. Tabla de desviaciones

D	TENSIÓN A LA ENTRADA DEL AMPLIFICADOR DE INSTRUMENTACIÓN (V)	TENSIÓN A LA SALIDA DEL AMPLIFICADOR DE INSTRUMENTACIÓN (V)	ESCALA (V/div)	INTERVALO DE ERROR (V)	GANANCIA EXP.	GANANCIA TEÓRICA	ERROR EN LA GANANCIA	DESVIACIÓN
0	0,0475	0,0570	0,0200	0,0010	1,2000	1,1000	0,0463	0,1000
1	0,0475	0,0570	0,0200	0,0010	1,2000	1,1004	0,0463	0,0996
2	0,0475	0,0570	0,0200	0,0010	1,2000	1,1008	0,0463	0,0992
3	0,0475	0,0570	0,0200	0,0010	1,2000	1,1012	0,0463	0,0988
4	0,0475	0,0570	0,0200	0,0010	1,2000	1,1016	0,0463	0,0984
5	0,0475	0,0570	0,0200	0,0010	1,2000	1,1020	0,0463	0,0980
6	0,0475	0,0570	0,0200	0,0010	1,2000	1,1024	0,0463	0,0976
7	0,0475	0,0570	0,0200	0,0010	1,2000	1,1028	0,0463	0,0972
8	0,0475	0,0570	0,0200	0,0010	1,2000	1,1032	0,0463	0,0968
9	0,0475	0,0570	0,0200	0,0010	1,2000	1,1036	0,0463	0,0964
10	0,0475	0,0580	0,0200	0,0010	1,2211	1,1041	0,0468	0,1170
11	0,0475	0,0580	0,0200	0,0010	1,2211	1,1045	0,0468	0,1166
12	0,0475	0,0580	0,0200	0,0010	1,2211	1,1049	0,0468	0,1161
13	0,0475	0,0580	0,0200	0,0010	1,2211	1,1053	0,0468	0,1157
14	0,0475	0,0580	0,0200	0,0010	1,2211	1,1058	0,0468	0,1153
15	0,0475	0,0580	0,0200	0,0010	1,2211	1,1062	0,0468	0,1148
16	0,0475	0,0580	0,0200	0,0010	1,2211	1,1067	0,0468	0,1144
17	0,0475	0,0580	0,0200	0,0010	1,2211	1,1071	0,0468	0,1139
18	0,0475	0,0580	0,0200	0,0010	1,2211	1,1076	0,0468	0,1135
19	0,0475	0,0580	0,0200	0,0010	1,2211	1,1080	0,0468	0,1130
20	0,0475	0,0580	0,0200	0,0010	1,2211	1,1085	0,0468	0,1126
21	0,0475	0,0580	0,0200	0,0010	1,2211	1,1089	0,0468	0,1121
22	0,0475	0,0580	0,0200	0,0010	1,2211	1,1094	0,0468	0,1117
23	0,0475	0,0580	0,0200	0,0010	1,2211	1,1099	0,0468	0,1112
24	0,0475	0,0580	0,0200	0,0010	1,2211	1,1103	0,0468	0,1107
25	0,0475	0,0580	0,0200	0,0010	1,2211	1,1108	0,0468	0,1102
26	0,0475	0,0580	0,0200	0,0010	1,2211	1,1113	0,0468	0,1098
27	0,0475	0,0580	0,0200	0,0010	1,2211	1,1118	0,0468	0,1093
28	0,0475	0,0580	0,0200	0,0010	1,2211	1,1123	0,0468	0,1088
29	0,0475	0,0580	0,0200	0,0010	1,2211	1,1128	0,0468	0,1083
30	0,0475	0,0580	0,0200	0,0010	1,2211	1,1133	0,0468	0,1078
31	0,0475	0,0580	0,0200	0,0010	1,2211	1,1138	0,0468	0,1073
32	0,0475	0,0580	0,0200	0,0010	1,2211	1,1143	0,0468	0,1068
33	0,0475	0,0580	0,0200	0,0010	1,2211	1,1148	0,0468	0,1063
34	0,0475	0,0580	0,0200	0,0010	1,2211	1,1153	0,0468	0,1057
35	0,0475	0,0580	0,0200	0,0010	1,2211	1,1158	0,0468	0,1052
36	0,0475	0,0580	0,0200	0,0010	1,2211	1,1164	0,0468	0,1047
37	0,0475	0,0580	0,0200	0,0010	1,2211	1,1169	0,0468	0,1042
38	0,0475	0,0580	0,0200	0,0010	1,2211	1,1174	0,0468	0,1036
39	0,0475	0,0580	0,0200	0,0010	1,2211	1,1180	0,0468	0,1031
40	0,0475	0,0580	0,0200	0,0010	1,2211	1,1185	0,0468	0,1025
41	0,0475	0,0580	0,0200	0,0010	1,2211	1,1191	0,0468	0,1020

Hoja1

42	0,0475	0,0580	0,0200	0,0010	1,2211	1,1196	0,0468	0,1014
43	0,0475	0,0580	0,0200	0,0010	1,2211	1,1202	0,0468	0,1009
44	0,0475	0,0580	0,0200	0,0010	1,2211	1,1207	0,0468	0,1003
45	0,0475	0,0580	0,0200	0,0010	1,2211	1,1213	0,0468	0,0997
46	0,0475	0,0580	0,0200	0,0010	1,2211	1,1219	0,0468	0,0992
47	0,0475	0,0580	0,0200	0,0010	1,2211	1,1225	0,0468	0,0986
48	0,0475	0,0580	0,0200	0,0010	1,2211	1,1231	0,0468	0,0980
49	0,0475	0,0580	0,0200	0,0010	1,2211	1,1237	0,0468	0,0974
50	0,0475	0,0580	0,0200	0,0010	1,2211	1,1243	0,0468	0,0968
51	0,0475	0,0580	0,0200	0,0010	1,2211	1,1249	0,0468	0,0962
52	0,0475	0,0580	0,0200	0,0010	1,2211	1,1255	0,0468	0,0956
53	0,0475	0,0580	0,0200	0,0010	1,2211	1,1261	0,0468	0,0950
54	0,0475	0,0580	0,0200	0,0010	1,2211	1,1267	0,0468	0,0943
55	0,0475	0,0580	0,0200	0,0010	1,2211	1,1274	0,0468	0,0937
56	0,0475	0,0580	0,0200	0,0010	1,2211	1,1280	0,0468	0,0931
57	0,0475	0,0580	0,0200	0,0010	1,2211	1,1286	0,0468	0,0924
58	0,0475	0,0580	0,0200	0,0010	1,2211	1,1293	0,0468	0,0918
59	0,0475	0,0580	0,0200	0,0010	1,2211	1,1299	0,0468	0,0911
60	0,0475	0,0600	0,0200	0,0010	1,2632	1,1306	0,0476	0,1326
61	0,0475	0,0600	0,0200	0,0010	1,2632	1,1313	0,0476	0,1319
62	0,0475	0,0600	0,0200	0,0010	1,2632	1,1319	0,0476	0,1312
63	0,0475	0,0600	0,0200	0,0010	1,2632	1,1326	0,0476	0,1305
64	0,0475	0,0600	0,0200	0,0010	1,2632	1,1333	0,0476	0,1298
65	0,0475	0,0600	0,0200	0,0010	1,2632	1,1340	0,0476	0,1291
66	0,0475	0,0600	0,0200	0,0010	1,2632	1,1347	0,0476	0,1284
67	0,0475	0,0600	0,0200	0,0010	1,2632	1,1354	0,0476	0,1277
68	0,0475	0,0600	0,0200	0,0010	1,2632	1,1362	0,0476	0,1270
69	0,0475	0,0600	0,0200	0,0010	1,2632	1,1369	0,0476	0,1263
70	0,0475	0,0600	0,0200	0,0010	1,2632	1,1376	0,0476	0,1255
71	0,0475	0,0600	0,0200	0,0010	1,2632	1,1384	0,0476	0,1248
72	0,0475	0,0600	0,0200	0,0010	1,2632	1,1391	0,0476	0,1240
73	0,0475	0,0600	0,0200	0,0010	1,2632	1,1399	0,0476	0,1233
74	0,0475	0,0600	0,0200	0,0010	1,2632	1,1406	0,0476	0,1225
75	0,0475	0,0600	0,0200	0,0010	1,2632	1,1414	0,0476	0,1217
76	0,0475	0,0600	0,0200	0,0010	1,2632	1,1422	0,0476	0,1209
77	0,0475	0,0600	0,0200	0,0010	1,2632	1,1430	0,0476	0,1202
78	0,0475	0,0600	0,0200	0,0010	1,2632	1,1438	0,0476	0,1194
79	0,0475	0,0600	0,0200	0,0010	1,2632	1,1446	0,0476	0,1185
80	0,0475	0,0600	0,0200	0,0010	1,2632	1,1454	0,0476	0,1177
81	0,0475	0,0600	0,0200	0,0010	1,2632	1,1463	0,0476	0,1169
82	0,0475	0,0600	0,0200	0,0010	1,2632	1,1471	0,0476	0,1160
83	0,0475	0,0600	0,0200	0,0010	1,2632	1,1480	0,0476	0,1152
84	0,0475	0,0600	0,0200	0,0010	1,2632	1,1488	0,0476	0,1143
85	0,0475	0,0600	0,0200	0,0010	1,2632	1,1497	0,0476	0,1135
86	0,0475	0,0600	0,0200	0,0010	1,2632	1,1506	0,0476	0,1126
87	0,0475	0,0600	0,0200	0,0010	1,2632	1,1515	0,0476	0,1117
88	0,0475	0,0600	0,0200	0,0010	1,2632	1,1524	0,0476	0,1108
89	0,0475	0,0600	0,0200	0,0010	1,2632	1,1533	0,0476	0,1099
90	0,0475	0,0600	0,0200	0,0010	1,2632	1,1542	0,0476	0,1090
91	0,0475	0,0600	0,0200	0,0010	1,2632	1,1551	0,0476	0,1080
92	0,0475	0,0600	0,0200	0,0010	1,2632	1,1561	0,0476	0,1071
93	0,0475	0,0600	0,0200	0,0010	1,2632	1,1570	0,0476	0,1061
94	0,0475	0,0600	0,0200	0,0010	1,2632	1,1580	0,0476	0,1051

Hoja1

95	0,0475	0,0610	0,0200	0,0010	1,2842	1,1590	0,0481	0,1252
96	0,0475	0,0610	0,0200	0,0010	1,2842	1,1600	0,0481	0,1242
97	0,0475	0,0610	0,0200	0,0010	1,2842	1,1610	0,0481	0,1232
98	0,0475	0,0610	0,0200	0,0010	1,2842	1,1620	0,0481	0,1222
99	0,0475	0,0610	0,0200	0,0010	1,2842	1,1630	0,0481	0,1212
100	0,0475	0,0610	0,0200	0,0010	1,2842	1,1641	0,0481	0,1201
101	0,0475	0,0610	0,0200	0,0010	1,2842	1,1651	0,0481	0,1191
102	0,0475	0,0610	0,0200	0,0010	1,2842	1,1662	0,0481	0,1180
103	0,0475	0,0610	0,0200	0,0010	1,2842	1,1673	0,0481	0,1169
104	0,0475	0,0610	0,0200	0,0010	1,2842	1,1684	0,0481	0,1158
105	0,0475	0,0610	0,0200	0,0010	1,2842	1,1695	0,0481	0,1147
106	0,0475	0,0610	0,0200	0,0010	1,2842	1,1706	0,0481	0,1136
107	0,0475	0,0610	0,0200	0,0010	1,2842	1,1718	0,0481	0,1124
108	0,0475	0,0610	0,0200	0,0010	1,2842	1,1730	0,0481	0,1113
109	0,0475	0,0610	0,0200	0,0010	1,2842	1,1741	0,0481	0,1101
110	0,0475	0,0610	0,0200	0,0010	1,2842	1,1753	0,0481	0,1089
111	0,0475	0,0610	0,0200	0,0010	1,2842	1,1765	0,0481	0,1077
112	0,0475	0,0610	0,0200	0,0010	1,2842	1,1778	0,0481	0,1065
113	0,0475	0,0610	0,0200	0,0010	1,2842	1,1790	0,0481	0,1052
114	0,0475	0,0610	0,0200	0,0010	1,2842	1,1803	0,0481	0,1039
115	0,0475	0,0610	0,0200	0,0010	1,2842	1,1815	0,0481	0,1027
116	0,0475	0,0610	0,0200	0,0010	1,2842	1,1828	0,0481	0,1014
117	0,0475	0,0610	0,0200	0,0010	1,2842	1,1842	0,0481	0,1001
118	0,0475	0,0610	0,0200	0,0010	1,2842	1,1855	0,0481	0,0987
119	0,0475	0,0610	0,0200	0,0010	1,2842	1,1868	0,0481	0,0974
120	0,0475	0,0610	0,0200	0,0010	1,2842	1,1882	0,0481	0,0960
121	0,0475	0,0610	0,0200	0,0010	1,2842	1,1896	0,0481	0,0946
122	0,0475	0,0610	0,0200	0,0010	1,2842	1,1910	0,0481	0,0932
123	0,0475	0,0610	0,0200	0,0010	1,2842	1,1925	0,0481	0,0918
124	0,0475	0,0610	0,0200	0,0010	1,2842	1,1939	0,0481	0,0903
125	0,0475	0,0610	0,0200	0,0010	1,2842	1,1954	0,0481	0,0888
126	0,0475	0,0610	0,0200	0,0010	1,2842	1,1969	0,0481	0,0873
127	0,0475	0,0610	0,0200	0,0010	1,2842	1,1984	0,0481	0,0858
128	0,0475	0,0610	0,0200	0,0010	1,2842	1,2000	0,0481	0,0842
129	0,0475	0,0610	0,0200	0,0010	1,2842	1,2016	0,0481	0,0827
130	0,0475	0,0620	0,0200	0,0010	1,3053	1,2031	0,0485	0,1021
131	0,0475	0,0620	0,0200	0,0010	1,3053	1,2048	0,0485	0,1005
132	0,0475	0,0620	0,0200	0,0010	1,3053	1,2064	0,0485	0,0988
133	0,0475	0,0620	0,0200	0,0010	1,3053	1,2081	0,0485	0,0972
134	0,0475	0,0620	0,0200	0,0010	1,3053	1,2098	0,0485	0,0955
135	0,0475	0,0620	0,0200	0,0010	1,3053	1,2115	0,0485	0,0937
136	0,0475	0,0620	0,0200	0,0010	1,3053	1,2133	0,0485	0,0920
137	0,0475	0,0620	0,0200	0,0010	1,3053	1,2151	0,0485	0,0902
138	0,0475	0,0620	0,0200	0,0010	1,3053	1,2169	0,0485	0,0883
139	0,0475	0,0620	0,0200	0,0010	1,3053	1,2188	0,0485	0,0865
140	0,0475	0,0620	0,0200	0,0010	1,3053	1,2207	0,0485	0,0846
141	0,0475	0,0620	0,0200	0,0010	1,3053	1,2226	0,0485	0,0827
142	0,0475	0,0630	0,0200	0,0010	1,3263	1,2245	0,0490	0,1018
143	0,0475	0,0630	0,0200	0,0010	1,3263	1,2265	0,0490	0,0998
144	0,0475	0,0630	0,0200	0,0010	1,3263	1,2285	0,0490	0,0978
145	0,0475	0,0630	0,0200	0,0010	1,3263	1,2306	0,0490	0,0957
146	0,0475	0,0630	0,0200	0,0010	1,3263	1,2327	0,0490	0,0936
147	0,0475	0,0630	0,0200	0,0010	1,3263	1,2348	0,0490	0,0915

Hoja1

148	0,0475	0,0630	0,0200	0,0010	1,3263	1,2370	0,0490	0,0893
149	0,0475	0,0630	0,0200	0,0010	1,3263	1,2392	0,0490	0,0871
150	0,0475	0,0630	0,0200	0,0010	1,3263	1,2415	0,0490	0,0848
151	0,0475	0,0630	0,0200	0,0010	1,3263	1,2438	0,0490	0,0825
152	0,0475	0,0630	0,0200	0,0010	1,3263	1,2461	0,0490	0,0802
153	0,0475	0,0640	0,0200	0,0010	1,3474	1,2485	0,0494	0,0989
154	0,0475	0,0640	0,0200	0,0010	1,3474	1,2509	0,0494	0,0964
155	0,0475	0,0640	0,0200	0,0010	1,3474	1,2534	0,0494	0,0939
156	0,0475	0,0640	0,0200	0,0010	1,3474	1,2560	0,0494	0,0914
157	0,0475	0,0640	0,0200	0,0010	1,3474	1,2585	0,0494	0,0888
158	0,0475	0,0640	0,0200	0,0010	1,3474	1,2612	0,0494	0,0862
159	0,0475	0,0640	0,0200	0,0010	1,3474	1,2639	0,0494	0,0835
160	0,0475	0,0640	0,0200	0,0010	1,3474	1,2666	0,0494	0,0807
161	0,0475	0,0640	0,0200	0,0010	1,3474	1,2694	0,0494	0,0779
162	0,0475	0,0640	0,0200	0,0010	1,3474	1,2723	0,0494	0,0751
163	0,0475	0,0650	0,0200	0,0010	1,3684	1,2752	0,0499	0,0932
164	0,0475	0,0650	0,0200	0,0010	1,3684	1,2782	0,0499	0,0902
165	0,0475	0,0650	0,0200	0,0010	1,3684	1,2813	0,0499	0,0871
166	0,0475	0,0650	0,0200	0,0010	1,3684	1,2844	0,0499	0,0840
167	0,0475	0,0650	0,0200	0,0010	1,3684	1,2876	0,0499	0,0808
168	0,0475	0,0660	0,0200	0,0010	1,3895	1,2909	0,0503	0,0986
169	0,0475	0,0660	0,0200	0,0010	1,3895	1,2942	0,0503	0,0953
170	0,0475	0,0660	0,0200	0,0010	1,3895	1,2976	0,0503	0,0919
171	0,0475	0,0660	0,0200	0,0010	1,3895	1,3011	0,0503	0,0884
172	0,0475	0,0660	0,0200	0,0010	1,3895	1,3047	0,0503	0,0848
173	0,0475	0,0660	0,0200	0,0010	1,3895	1,3084	0,0503	0,0811
174	0,0475	0,0660	0,0200	0,0010	1,3895	1,3121	0,0503	0,0773
175	0,0475	0,0670	0,0200	0,0010	1,4105	1,3160	0,0507	0,0945
176	0,0475	0,0670	0,0200	0,0010	1,4105	1,3199	0,0507	0,0906
177	0,0475	0,0670	0,0200	0,0010	1,4105	1,3240	0,0507	0,0865
178	0,0475	0,0670	0,0200	0,0010	1,4105	1,3281	0,0507	0,0824
179	0,0475	0,0670	0,0200	0,0010	1,4105	1,3324	0,0507	0,0781
180	0,0475	0,0670	0,0200	0,0010	1,4105	1,3368	0,0507	0,0738
181	0,0475	0,0670	0,0200	0,0010	1,4105	1,3413	0,0507	0,0693
182	0,0475	0,0680	0,0200	0,0010	1,4316	1,3459	0,0512	0,0857
183	0,0475	0,0680	0,0200	0,0010	1,4316	1,3506	0,0512	0,0810
184	0,0475	0,0680	0,0200	0,0010	1,4316	1,3555	0,0512	0,0761
185	0,0475	0,0690	0,0200	0,0010	1,4526	1,3605	0,0516	0,0921
186	0,0475	0,0690	0,0200	0,0010	1,4526	1,3656	0,0516	0,0870
187	0,0475	0,0690	0,0200	0,0010	1,4526	1,3709	0,0516	0,0817
188	0,0475	0,0690	0,0200	0,0010	1,4526	1,3764	0,0516	0,0762
189	0,0475	0,0700	0,0200	0,0010	1,4737	1,3820	0,0521	0,0917
190	0,0475	0,0700	0,0200	0,0010	1,4737	1,3878	0,0521	0,0859
191	0,0475	0,0700	0,0200	0,0010	1,4737	1,3938	0,0521	0,0799
192	0,0475	0,0700	0,0200	0,0010	1,4737	1,3999	0,0521	0,0738
193	0,0475	0,0700	0,0200	0,0010	1,4737	1,4063	0,0521	0,0674
194	0,0475	0,0700	0,0200	0,0010	1,4737	1,4128	0,0521	0,0609
195	0,0475	0,0710	0,0200	0,0010	1,4947	1,4196	0,0525	0,0752
196	0,0475	0,0710	0,0200	0,0010	1,4947	1,4266	0,0525	0,0682
197	0,0475	0,0720	0,0200	0,0010	1,5158	1,4338	0,0530	0,0820
198	0,0475	0,0720	0,0200	0,0010	1,5158	1,4413	0,0530	0,0745
199	0,0475	0,0720	0,0200	0,0010	1,5158	1,4490	0,0530	0,0668
200	0,0475	0,0730	0,0200	0,0010	1,5368	1,4570	0,0534	0,0798

Hoja1

201	0,0475	0,0730	0,0200	0,0010	1,5368	1,4653	0,0534	0,0715
202	0,0475	0,0740	0,0200	0,0010	1,5579	1,4739	0,0539	0,0840
203	0,0475	0,0740	0,0200	0,0010	1,5579	1,4829	0,0539	0,0750
204	0,0475	0,0750	0,0200	0,0010	1,5789	1,4922	0,0543	0,0868
205	0,0475	0,0750	0,0200	0,0010	1,5789	1,5018	0,0543	0,0771
206	0,0475	0,0760	0,0200	0,0010	1,6000	1,5118	0,0547	0,0882
207	0,0475	0,0760	0,0200	0,0010	1,6000	1,5223	0,0547	0,0777
208	0,0475	0,0760	0,0200	0,0010	1,6000	1,5332	0,0547	0,0668
209	0,0475	0,0770	0,0200	0,0010	1,6211	1,5445	0,0552	0,0765
210	0,0475	0,0770	0,0200	0,0010	1,6211	1,5563	0,0552	0,0647
211	0,0475	0,0780	0,0200	0,0010	1,6421	1,5687	0,0556	0,0734
212	0,0475	0,0790	0,0200	0,0010	1,6632	1,5816	0,0561	0,0815
213	0,0475	0,0800	0,0200	0,0010	1,6842	1,5951	0,0565	0,0891
214	0,0475	0,0800	0,0200	0,0010	1,6842	1,6093	0,0565	0,0749
215	0,0475	0,0800	0,0500	0,0025	1,6842	1,6242	0,1097	0,0601
216	0,0475	0,0800	0,0500	0,0025	1,6842	1,6398	0,1097	0,0445
217	0,0475	0,0825	0,0500	0,0025	1,7368	1,6562	0,1125	0,0807
218	0,0475	0,0825	0,0500	0,0025	1,7368	1,6734	0,1125	0,0634
219	0,0475	0,0825	0,0500	0,0025	1,7368	1,6916	0,1125	0,0452
220	0,0475	0,0850	0,0500	0,0025	1,7895	1,7108	0,1152	0,0787
221	0,0475	0,0850	0,0500	0,0025	1,7895	1,7311	0,1152	0,0584
222	0,0475	0,0850	0,0500	0,0025	1,7895	1,7526	0,1152	0,0369
223	0,0475	0,0875	0,0500	0,0025	1,8421	1,7754	0,1180	0,0667
224	0,0475	0,0875	0,0500	0,0025	1,8421	1,7996	0,1180	0,0425
225	0,0475	0,0900	0,0500	0,0025	1,8947	1,8254	0,1208	0,0693
226	0,0475	0,0900	0,0500	0,0025	1,8947	1,8529	0,1208	0,0418
227	0,0475	0,0925	0,0500	0,0025	1,9474	1,8823	0,1235	0,0651
228	0,0475	0,0950	0,0500	0,0025	2,0000	1,9138	0,1263	0,0862
229	0,0475	0,0950	0,0500	0,0025	2,0000	1,9476	0,1263	0,0524
230	0,0475	0,0975	0,0500	0,0025	2,0526	1,9840	0,1291	0,0686
231	0,0475	0,1000	0,0500	0,0025	2,1053	2,0234	0,1319	0,0819
232	0,0475	0,1025	0,0500	0,0025	2,1579	2,0660	0,1346	0,0919
233	0,0475	0,1050	0,0500	0,0025	2,2105	2,1123	0,1374	0,0982
234	0,0475	0,1075	0,0500	0,0025	2,2632	2,1628	0,1402	0,1003
235	0,0475	0,1100	0,0500	0,0025	2,3158	2,2182	0,1429	0,0976
236	0,0475	0,1125	0,0500	0,0025	2,3684	2,2790	0,1457	0,0894
237	0,0475	0,1150	0,0500	0,0025	2,4211	2,3463	0,1485	0,0748
238	0,0475	0,1200	0,0500	0,0025	2,5263	2,4210	0,1540	0,1053
239	0,0475	0,1250	0,0500	0,0025	2,6316	2,5045	0,1596	0,1271
240	0,0475	0,1300	0,0500	0,0025	2,7368	2,5985	0,1651	0,1384
241	0,0475	0,1350	0,0500	0,0025	2,8421	2,7049	0,1706	0,1372
242	0,0475	0,1400	0,0500	0,0025	2,9474	2,8266	0,1762	0,1208
243	0,0475	0,1475	0,0500	0,0025	3,1053	2,9669	0,1845	0,1384
244	0,0475	0,1550	0,0500	0,0025	3,2632	3,1306	0,1928	0,1326
245	0,0475	0,1650	0,0500	0,0025	3,4737	3,3240	0,2039	0,1497
246	0,0475	0,1775	0,0500	0,0025	3,7368	3,5561	0,2177	0,1808
247	0,0475	0,1925	0,0500	0,0025	4,0526	3,8396	0,2343	0,2130
248	0,0475	0,2100	0,1000	0,0050	4,4211	4,1939	0,4864	0,2272
249	0,0475	0,2300	0,1000	0,0050	4,8421	4,6491	0,5307	0,1930
250	0,0475	0,2650	0,1000	0,0050	5,5789	5,2558	0,6083	0,3232
251	0,0475	0,3050	0,1000	0,0050	6,4211	6,1043	0,6970	0,3167
252	0,0475	0,3650	0,1000	0,0050	7,6842	7,3755	0,8299	0,3087
253	0,0475	0,4750	0,2000	0,0100	10,0000	9,4899	2,1263	0,5101

Hoja1

254	0,0475	0,6750	0,2000	0,0100	14,2105	13,7024	3,0127	0,5081
255	0,0475	1,1950	0,5000	0,0250	25,1579	26,2127	13,2620	1,0548

Apéndice D

Hojas de datos

D.1. AD623



Single Supply, Rail-to-Rail, Low Cost Instrumentation Amplifier

AD623

FEATURES

- Easy to Use
- Higher Performance than Discrete Design
- Single and Dual Supply Operation
- Rail-to-Rail Output Swing
- Input Voltage Range Extends 150 mV Below Ground (Single Supply)
- Low Power, 575 μ A Max Supply Current
- Gain Set with One External Resistor
- Gain Range 1 (No Resistor) to 1,000

HIGH ACCURACY DC PERFORMANCE

- 0.1% Gain Accuracy ($G = 1$)
- 0.35% Gain Accuracy ($G > 1$)
- 25 ppm Gain Drift ($G = 1$)
- 200 μ V Max Input Offset Voltage (AD623A)
- 2 μ V/ $^{\circ}$ C Max Input Offset Drift (AD623A)
- 100 μ V Max Input Offset Voltage (AD623B)
- 1 μ V/ $^{\circ}$ C Max Input Offset Drift (AD623B)
- 25 nA Max Input Bias Current

NOISE

- 35 nV/ $\sqrt{\text{Hz}}$ RTI Noise @ 1 kHz ($G = 1$)

EXCELLENT AC SPECIFICATIONS

- 90 dB Min CMRR ($G = 10$); 84 dB Min CMRR ($G = 5$) (@ 60 Hz, 1K Source Imbalance)
- 800 kHz Bandwidth ($G = 1$)
- 20 μ s Settling Time to 0.01% ($G = 10$)

APPLICATIONS

- Low Power Medical Instrumentation
- Transducer Interface
- Thermocouple Amplifier
- Industrial Process Controls
- Difference Amplifier
- Low Power Data Acquisition

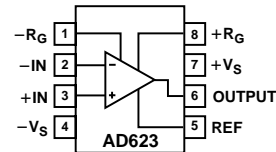
PRODUCT DESCRIPTION

The AD623 is an integrated single supply instrumentation amplifier that delivers rail-to-rail output swing on a single supply (+3 V to +12 V supplies). The AD623 offers superior user flexibility by allowing single gain set resistor programming, and conforming to the 8-lead industry standard pinout configuration. With no external resistor, the AD623 is configured for unity gain ($G = 1$) and with an external resistor, the AD623 can be programmed for gains up to 1,000.

The AD623 holds errors to a minimum by providing superior AC CMRR that increases with increasing gain. Line noise, as well as line harmonics, will be rejected since the CMRR remains constant up to 200 Hz. The AD623 has a wide input

CONNECTION DIAGRAM

8-Lead Plastic DIP (N),
SOIC (R) and μ SOIC (RM) Packages



common-mode range and can amplify signals that have a common-mode voltage 150 mV below ground. Although the design of the AD623 has been optimized to operate from a single supply, the AD623 still provides superior performance when operated from a dual voltage supply (± 2.5 V to ± 6.0 V).

Low power consumption (1.5 mW at 3 V), wide supply voltage range, and rail-to-rail output swing make the AD623 ideal for battery powered applications. The rail-to-rail output stage maximizes the dynamic range when operating from low supply voltages. The AD623 replaces discrete instrumentation amplifier designs and offers superior linearity, temperature stability and reliability in a minimum of space. Until the AD623, this level of instrumentation amplifier performance has not been achieved.

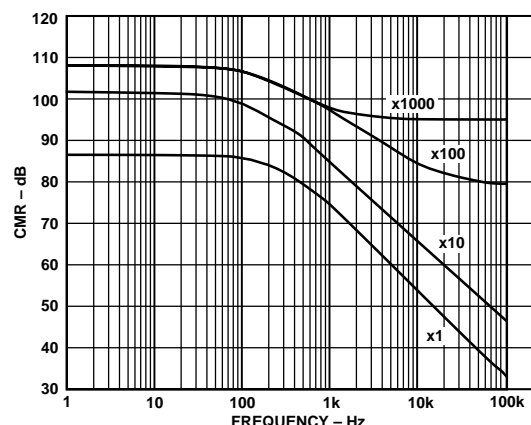


Figure 1. CMR vs. Frequency, +5 V_S , 0 V_S

REV. C

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 which may result from its use. No license is granted by implication or otherwise under any patent or patent rights of Analog Devices.

One Technology Way, P.O. Box 9106, Norwood, MA 02062-9106, U.S.A.
Tel: 781/329-4700 World Wide Web Site: <http://www.analog.com>
Fax: 781/326-8703 © Analog Devices, Inc., 1999

D.2. AD5241



I²C[®] Compatible 256-Position Digital Potentiometers

AD5241/AD5242

FEATURES

- 256 Positions
- 10 k Ω , 100 k Ω , 1 M Ω
- Low Tempco 30 ppm/ $^{\circ}$ C
- Internal Power ON Midscale Preset
- Single-Supply 2.7 V to 5.5 V or
Dual-Supply \pm 2.7 V for AC or Bipolar Operation
- I²C Compatible Interface with Readback Capability
- Extra Programmable Logic Outputs
- Self-Contained Shutdown Feature
- Extended Temperature Range -40° C to $+105^{\circ}$ C

APPLICATIONS

- Multimedia, Video, and Audio Communications
- Mechanical Potentiometer Replacement
- Instrumentation: Gain, Offset Adjustment
- Programmable Voltage-to-Current Conversion
- Line Impedance Matching

GENERAL DESCRIPTION

The AD5241/AD5242 provide a single-/dual-channel, 256-position, digitally controlled variable resistor (VR) device. These devices perform the same electronic adjustment function as a potentiometer, trimmer, or variable resistor. Each VR offers a completely programmable value of resistance between the A Terminal and the wiper, or the B Terminal and the wiper. For AD5242, the fixed A-to-B terminal resistance of 10 k Ω , 100 k Ω , or 1 M Ω has a 1% channel-to-channel matching tolerance. The nominal temperature coefficient of both parts is 30 ppm/ $^{\circ}$ C.

Wiper position programming defaults to midscale at system power ON. Once powered, the VR wiper position is programmed by an I²C compatible 2-wire serial data interface. Both parts have available two extra programmable logic outputs that enable users to drive digital loads, logic gates, LED drivers, and analog switches in their system.

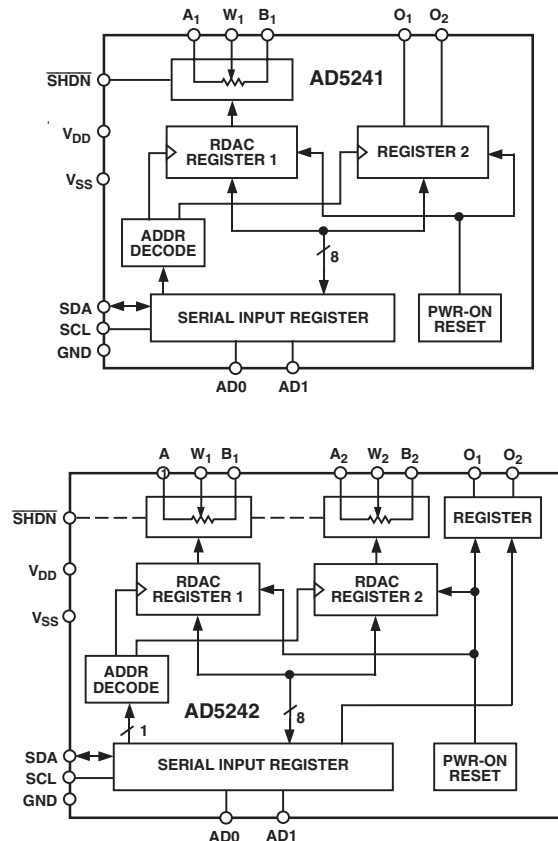
The AD5241/AD5242 are available in surface-mount (SOIC-14/-16) packages and, for ultracompact solutions, TSSOP-14/-16 packages. All parts are guaranteed to operate over the extended temperature range of -40° C to $+105^{\circ}$ C. For 3-wire, SPI compatible interface applications, please refer to AD5200, AD5201, AD5203, AD5204, AD5206, AD5231*, AD5232*, AD5235*, AD7376, AD8400, AD8402, and AD8403 products.

*Nonvolatile digital potentiometer
I²C is a registered trademark of Philips Corporation.

REV. B

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. No license is granted by implication or otherwise under any patent or patent rights of Analog Devices.

FUNCTIONAL BLOCK DIAGRAM



D.3. LTC1564

10kHz to 150kHz Digitally Controlled Antialiasing Filter and 4-Bit P.G.A.

FEATURES

- **4-Bit Digitally Controlled 8th-Order Lowpass Filter**
 - f_{CUTOFF} Adjustable from 10kHz to 150kHz in 10kHz Steps
 - 100dB Attenuation at $2.5 \times f_{CUTOFF}$
- **4-Bit Digitally Controlled Programmable Gain Amplifier**
 - $G = 1$ to 16 in 1V/V Steps
- Miniature 16-Pin SSOP Package
- No External Components
- 122dB Total System Dynamic Range
- Rail-to-Rail Input and Output Range
- 2.7V to 10V Operation
- Low Noise Mute Mode
- Low Power Shutdown Mode
- Available in 16-Lead Plastic SSOP Package

APPLICATIONS

- Antialias or Reconstruction Filtering
- DSP Systems
- Communications Systems
- Scientific Instruments
- High Resolutions (16 Bits to 20 Bits)
- Processing Signals Buried in Noise
- Audio Signal Processing
- Programmable Data Rates
- Automatic Gain Control (AGC)
- Single Part Replacing Multiple Filters

DESCRIPTION

The LTC[®]1564 is a new type of continuous time filter for antialiasing, reconstruction and other band-limiting applications. No other analog components or filter expertise are needed to use it. There is one analog input pin and one analog output pin. The cutoff frequency (f_C) and gain are programmable while the shape of the lowpass response is fixed. A latching digital interface stores f_C and gain settings or it can be bypassed for control directly from the pins. The LTC1564 operates from 2.7V to 10V total (single or split supplies) and comes in a 16-pin surface mount SSOP.

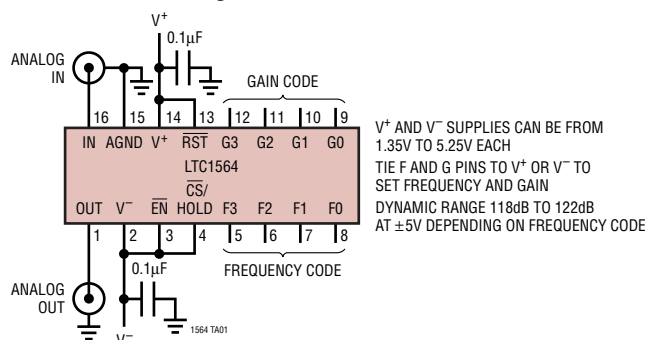
The LTC1564 is a rail-to-rail high resolution 8th-order lowpass filter with two stopband notches, giving approximately 100dB attenuation at 2.5 times the passband cutoff frequency f_C (a de-facto standard for DSP front ends). Signals with low or variable levels can be normalized with the built-in variable gain that reduces input-referred noise with increasing gain for a typical dynamic range (maximum signal level to minimum noise) of 122dB (20 equivalent bits) with 20kHz f_C and 118dB at 100kHz f_C on a $\pm 5V$ supply.

Other frequency-response shapes can be provided upon request. Please contact LTC Marketing.

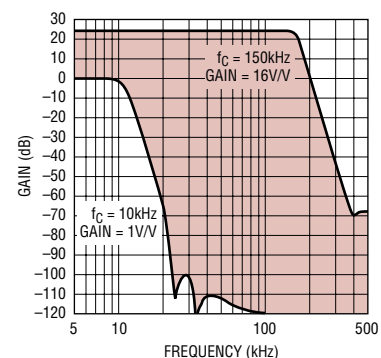
LT, LTC and LT are registered trademarks of Linear Technology Corporation. All other trademarks are the property of their respective owners.

TYPICAL APPLICATION

Low Noise Programmable Filter with Variable Gain



LTC1564 Programmable Range



1564 TA02

1564fa

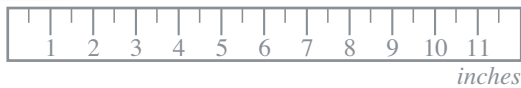
D.4. ITC-6050

Model ITC-6050C

Preamplified Hydrophone

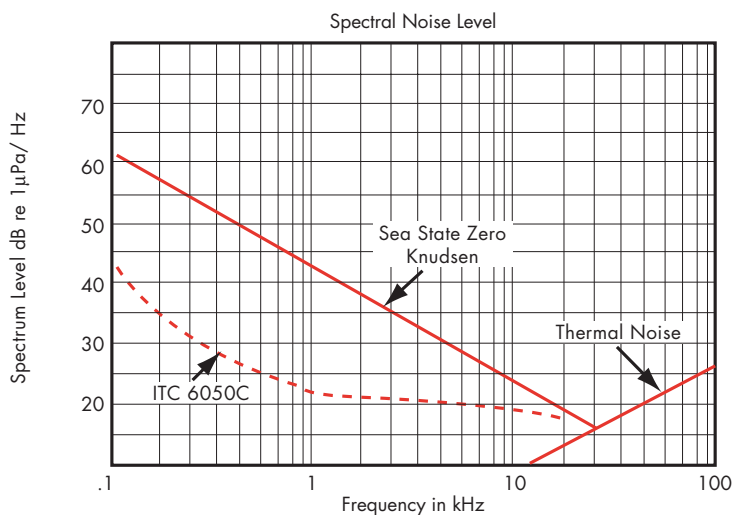
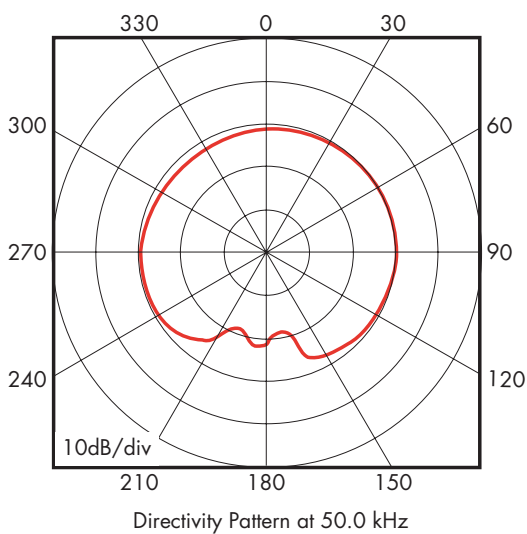
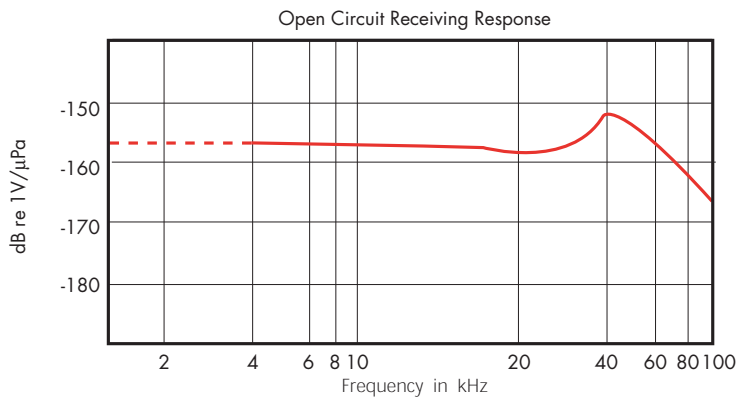
Model ITC-6050C

The Model ITC-6050C is a popular broadband hydrophone. The unit has a built-in, low noise preamplifier making it excellent for many field applications. Fully encapsulated in high quality polyurethane, it is well suited for rigorous conditions.



Specifications (Nominal)

Type	Hydrophone w/ Preamplifier
Resonance f_r	50 kHz
Depth	900 meters
Envelope Dimensions (in.)	2D x 12L
Midband OCV	-157 dB//1V/ μ Pa
Suggested Band	.03 - 70 kHz
Beam Type	Spherical

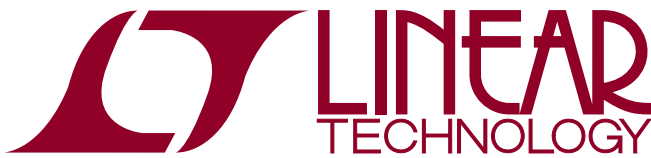


International Transducer Corporation

869 Ward Drive, Santa Barbara, CA 93111
805.683.2575 • 805.967.8199 FAX

www.itc-transducers.com

D.5. LTC6240



LTC6240/LTC6241/LTC6242

Single/Dual/Quad 18MHz,
Low Noise, Rail-to-Rail Output,
CMOS Op Amps

FEATURES

- **0.1Hz to 10Hz Noise:** 550nV_{P-P}
- **Input Bias Current:**
0.2pA (Typ at 25°C)
1pA Max (LTC6240)
- **Low Offset Voltage:** 125µV Max
- Low Offset Drift: 2.5µV/°C Max
- Gain Bandwidth Product: 18MHz
- Output Swings Rail-to-Rail
- Supply Operation:
2.8V to 6V LTC6240/LTC6241/LTC6242
2.8V to ±5.5V LTC6240HV/LTC6241HV/LTC6242HV
- Low Input Capacitance
- H-Grade Temperature Range: -40°C to 125°C
- Single LTC6240 in 5-Pin Low Profile (1mm) ThinSOT™ Package and 8-Pin SO for PCB Guard Ring
- Dual LTC6241 in 8-Pin SO and Tiny DFN Packages
- Quad LTC6242 in 16-Pin SSOP and 5mm × 3mm DFN Packages

APPLICATIONS

- Photo Diode Amplifiers
- Charge Coupled Amplifiers
- Low Noise Signal Processing
- Medical Instrumentation
- High Impedance Transducer Amplifier

DESCRIPTION

The LTC®6240/6241/LTC6242 are single, dual and quad low noise, low offset, rail-to-rail output, unity gain stable CMOS op amps that feature 1pA of input bias current. Input bias current is guaranteed to be 1pA max on the single LTC6240. The 0.1Hz to 10Hz noise of only 550nV_{P-P}, along with an offset of just 125µV are significant improvements over traditional CMOS op amps. Additionally, noise is guaranteed to be less than 10nV/√Hz at 1kHz. An 18MHz gain bandwidth, and 10V/µs slew rate, along with the wide supply range and low input capacitance, make them perfect for use as fast signal processing amplifiers.

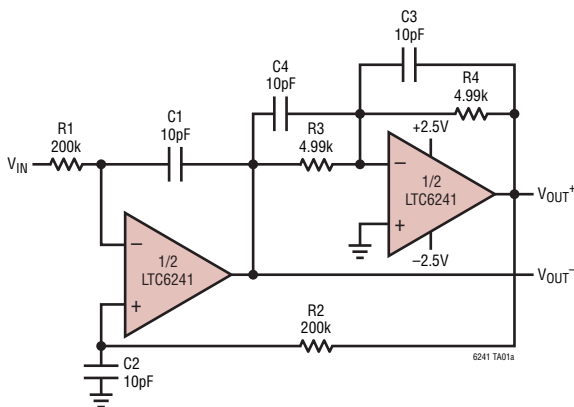
These op amps have an output stage that swings within 30mV of either supply rail to maximize the signal dynamic range in low supply applications. The input common mode range extends to the negative supply. They are fully specified on 3V and 5V, and an HV version guarantees operation on supplies up to ±5V.

The LTC6240 is available in the 8-pin SO and the 5-pin SOT-23 packages. The LTC6241 is available in the 8-pin SO, and for compact designs it is packaged in a tiny dual fine pitch leadless (DFN) package. The LTC6242 is available in the 16-pin SSOP as well as the 5mm × 3mm DFN package.

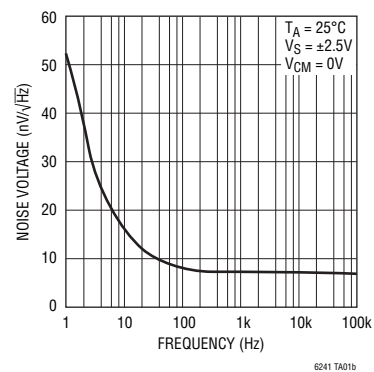
LT, LTC, LTM, Linear Technology and the Linear logo are registered trademarks of Linear Technology Corporation. ThinSOT is a trademark of Linear Technology Corporation. All other trademarks are the property of their respective owners.

TYPICAL APPLICATION

Low Noise Single-Ended Input to Differential Output Amplifier



Noise Voltage vs Frequency



624012fe



D.6. TPS76201

TPS76201
LOW OUTPUT ADJUSTABLE
ULTRALOW-POWER 100-mA LDO LINEAR REGULATOR
SLVS323B – FEBRUARY 2001 – REVISED JANUARY 2007

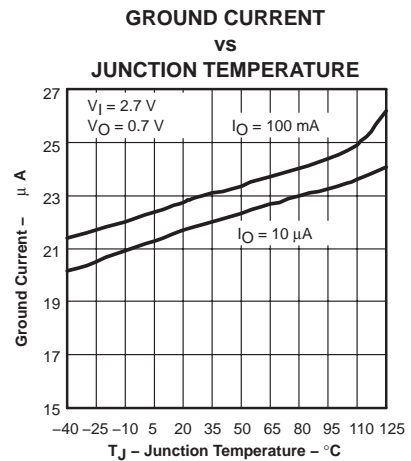
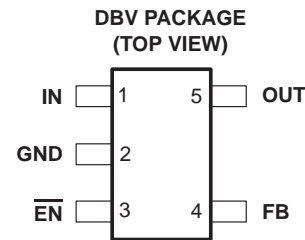
- 100-mA Low-Dropout Regulator
- Adjustable Output Voltage (0.7 V to 5.5 V)
- Only 23 μ A Quiescent Current at 100 mA
- 1 μ A Quiescent Current in Standby Mode
- Over Current Limitation
- -40°C to 125°C Operating Junction Temperature Range
- 5-Pin SOT-23 (DBV) Package

description

The TPS76201 low-dropout (LDO) voltage regulator features an adjustable output voltage as low as 0.7 V. It is an ideal regulator for sub 1.2-V DSP core voltage supplies and is equally suited for similar applications with other low-voltage processors and controllers. SOT-23 packaging and the high-efficiency that results from the regulator's ultralow power operation make the TPS76201 especially useful in handheld and portable battery applications. This regulator features low dropout voltages and ultralow quiescent current compared to conventional LDO regulators. Offered in a 5-terminal small outline integrated-circuit SOT-23 package, the TPS76201 is ideal for micropower operations and where board space is at a premium.

A combination of new circuit design and process innovation has enabled the usual PNP pass transistor to be replaced by a PMOS pass element. Since the PMOS pass element is a voltage-driven device, the quiescent current is ultralow (30 μ A maximum) and is stable over the entire range of output load current (10 μ A to 100 mA). Intended for use in portable systems such as laptops and cellular phones, the ultralow-power operation results in a significant increase in the system battery operating life.

The TPS76201 also features a logic-enabled sleep mode to shut down the regulator, reducing quiescent current to 1 μ A typical at $T_J = 25^{\circ}\text{C}$. The TPS76201 is offered in an adjustable version (programmable over the range of 0.7 V to 5.5 V).



AVAILABLE OPTIONST

T_J	VOLTAGE	PACKAGE	PART NUMBER		SYMBOL
-40°C to 125°C	Variable 0.7 V to 5.5 V	SOT-23 (DBV)	TPS76201DBVT‡	TPS76201DBVR§	PFUI

† Contact the factory for availability of fixed output options.

‡ The DBVT indicates tape and reel of 250 parts.

§ The DBVR indicates tape and reel of 3000 parts.



Please be aware that an important notice concerning availability, standard warranty, and use in critical applications of Texas Instruments semiconductor products and disclaimers thereto appears at the end of this data sheet.

All trademarks are the property of their respective owners.

PRODUCTION DATA information is current as of publication date. Products conform to specifications per the terms of Texas Instruments standard warranty. Production processing does not necessarily include testing of all parameters.



Copyright © 2001–2007, Texas Instruments Incorporated