



**Universidad
de La Laguna**

TRABAJO DE FIN DE GRADO

Grado en Ingeniería Electrónica Industrial y Automática

Circuito Electrónico Reconfigurable Basado en un Amplificador Operacional

Autor: Jonatan Bonilla Luis

Tutores:

D. Silvestre Rodríguez Pérez

Dña. Beatriz Rodríguez Mendoza

Septiembre 2021

Agradecimientos

Mi más sincero agradecimiento a mis tutores Silvestre Rodríguez Pérez y Beatriz Rodríguez Mendoza, por toda la ayuda y tiempo que me han dedicado para que este trabajo pudiera salir adelante.

A todos y cada uno de los miembros de mi familia por todo el esfuerzo y sacrificio que han depositado durante todos estos años de carrera, apoyando siempre desde la distancia en los momentos más difíciles, aun cuando no tomaba las mejores decisiones. Espero que estéis tan orgullosos como lo estoy yo de vosotros.

A mi suegro Javier Morales Córdoba por prestarme toda la ayuda cuando la necesita compartiendo todos sus conocimientos sobre el tema, celebrando los progresos como si suyos se tratasen.

Y por último mi mayor agradecimiento a mi pareja Ana Martínez porque sin ella no hubiera llegado hasta el final. Por darme un empujón cada vez que lo necesitaba, cuando lo daba todo por perdido y me rendía. Infinitas gracias por estar siempre en cualquier circunstancia aguantando mis cambios de humor y compartiendo mis frustraciones, pero sobre todo mis alegrías, siendo partícipe de cada una de ellas.

A todos vosotros, Gracias.

Resumen

En este documento se presenta el proceso de diseño, simulación e implementación en PCB de un circuito electrónico reconfigurable basado en el amplificador operacional $\mu A741$, que permite ser configurado para abordar el estudio experimental de algunos circuitos básicos fundamentados en el uso de dicho amplificador operacional.

El circuito electrónico constituye el núcleo principal de un módulo educativo con la finalidad de que el estudiante pueda desarrollar competencias relacionadas con el diseño y funcionamiento de aquellos circuitos electrónicos básicos construidos a partir del amplificador operacional $\mu A741$.

El circuito está basado en un conjunto de relés, que permiten el paso de corriente por la PCB (Printed Circuit Board). Los interruptores analógicos son controlados por registros de desplazamiento mediante un código de Arduino que genera el estado (alta o baja) de cada pin del registro, de manera que se produce la activación de los relés constituyendo así las diferentes configuraciones del Amplificador Operacional.

Abstract

This document presents the design, simulation and implementation process on PCB of a reconfigurable electronic circuit based on the $\mu A741$ operational amplifier, which allows to be configured to address the experimental study of some basic circuits based on the use of the operational amplifier.

The electronic circuit constitutes the main core of an educational module in order for the student to develop competencies related to the design and operation of those basic electronic circuits built from the $\mu A741$ operational amplifier.

The circuit is based on a set of relays, which allow current to pass through the PCB (Printed Circuit Board). The analog switches are controlled by shift registers Arduino code generating state (high or low) of each pin of the registration, which activates each relay with different configurations of the Operational Amplifier.

Índice de Contenidos

1.	Introducción.....	8
1.1	Introducción general	8
1.2	Objetivo general	8
1.3	Objetivos específicos	9
1.4	Estructura.....	10
2.	Fundamentos Teóricos	11
2.1	Introducción.....	11
2.2	Circuitos básicos	11
2.2.1	Comparador	11
2.2.2	Seguidor de tensión.....	12
2.2.3	Amplificador en configuración inversora	12
2.2.4	Amplificador en configuración no inversora	13
2.2.5	Amplificador diferenciador o restador	13
2.2.6	Amplificador sumador inversor	14
2.2.7	Sumador no inversor	15
2.2.8	Amplificador Integrador en configuración inversora	15
2.2.9	Amplificador Diferenciador en configuración inversora (Derivador)	16
2.3	Componentes del circuito reconfigurable	16
2.3.1	Amplificador operacional.....	16
2.3.2	Relés de estado sólido o interruptores analógicos	18
3.	Diseño del circuito electrónico.....	19
3.1	Introducción.....	19
3.2	Circuito electrónico reconfigurable	21
3.3	Circuito configurador/selector.....	22
3.4	Componentes del circuito selector	25
3.4.1	Microprocesador Arduino	25
3.4.2	Registro de desplazamiento.....	26
3.5	Implementación en protoboard.....	27
3.6	Circuito electrónico final	29
4.	Diseño PCB (Printed Circuit Board)	31
4.1	Introducción.....	31
4.2	Orcad Capture CIS (Diseño esquemático).....	31
4.3	PCB Editor (Layout).....	35
4.3.1	Creación de huellas (footprints).....	35

4.3.2 Creación de la PCB	37
5. Resultados y conclusiones	42
5.1 Simulaciones, y comparativa con los resultados experimentales	42
5.2 Conclusiones	59
6. Bibliografía	61
7. Anexos	62
7.1 Anexo I. Cálculos teóricos	62
7.1.1 Amplificador comparador	62
7.1.2 Amplificador seguidor de tensión	62
7.1.3 Amplificador inversor	63
7.1.4 Amplificador no inversor	63
7.1.5 Amplificador Restador	64
7.1.6 Amplificador sumador inversor	65
7.1.7 Amplificador sumador no inversor	66
7.1.8 Amplificador integrador en configuración inversora	68
7.1.9 Amplificador diferenciador en configuración inversora (Derivador)	68
7.2 Anexo II. Presupuesto	69
7.2.1 Coste materiales	69
7.2.2 Coste mano de obra	70
7.2.3 Coste total del trabajo	70
7.3 Anexo III. Código programación Arduino	72
7.4 Anexo IV. Esquema circuito electrónico reconfigurable	75
7.5 Anexo V. Fotolitos PCB	76
7.5.1 Fotolito capa TOP	76
7.5.2 Fotolito capa BOTTOM	77
7.6 Anexo VI. Documentación de salida PCB	78
7.6.1 Lista de materiales	78
7.6.3 Netlist	79
7.6.4 Informe de colocación de componentes	80
7.7 Anexo VII. Datasheets	82
7.7.1 74HC595	82
7.7.2 LM74	94
7.7.3 SIP-1A05	99
7.7.4 Bloque de terminales	102
7.7.5 Pulsador	104

Índice de Ilustraciones

Figura 1.1. Diagrama general del circuito electrónico desarrollado.....	9
Figura 2.1. AO Comparador.....	11
Figura 2.2. OA seguidor de tensión.....	12
Figura 2.3. OA en configuración inversora.....	12
Figura 2.4. OA en configuración no inversora.....	13
Figura 2.5. OA Diferenciador o restador.....	14
Figura 2.6. OA sumador inversor.....	14
Figura 2.7. OA sumador no inversor.....	15
Figura 2.8. OA Integrador.....	15
Figura 2.9. OA derivador.....	16
Figura 2.10. Amplificador Operacional μ A741.....	17
Figura 2.11. Modelo ideal Amplificador operacional.....	17
Figura 2.12. Diagrama de bloques de un OVA de una y dos etapas.....	17
Figura 2.13. Amplificador operacional con realimentación negativa en configuración inversora.	18
Figura 2.14. Relé de estado sólido SIP-1A05.....	18
Figura 3.1. Diagrama general del circuito electrónico desarrollado.....	19
Figura 3.2. Esquema del circuito electrónico reconfigurable completo.....	20
Figura 3.3. Esquema electrónico simplificado del circuito reconfigurable.....	21
Figura 3.4. Entrono de desarrollo Arduino IDE.....	23
Figura 3.5. Mapa de pines Arduino Uno.....	23
Figura 3.6. Microcontrolador Arduino Uno.....	25
Figura 3.7. Circuito integrado 74HC595.....	26
Figura 3.8. Mapa de pines 74HC595.....	26
Figura 3.9. Cronograma del funcionamiento del CI 74HC595N.....	26
Figura 3.10. Protoboard EIC-104, con el circuito electrónico final implementado.....	27
Figura 3.11. Conexión de relé SIP-1A05.....	28
Figura 3.12. Mapa de pines operacional 741.....	29
Figura 3.13. Puesto de laboratorio, con protoboard y aparatos de medida.....	30
Figura 3.14. Esquema final simplificado del circuito electrónico reconfigurable.....	30
Figura 4.1. Creación de librería de componentes.....	31
Figura 4.2. Diagrama de conexión Arduino y Switchs.....	32
Figura 4.3. Diagrama de conexión de conectores y relés del registro 1.....	32
Figura 4.4. Diagrama de conexión de relés del registro 2.....	33
Figura 4.5. Diagrama de conexión del AO y relés del registro 3.....	33
Figura 4.6. Pines inhabilitados componente Arduino.....	34
Figura 4.7. Fichero de conexiones Netlist.....	34
Figura 4.8. Footprint SN74HC595N.....	35
Figura 4.9. Creación de Pads.....	36
Figura 4.10. Medidas footprint relé SIP-1A05.....	36
Figura 4.11. Conector o bloque de terminal.....	38
Figura 4.12. Capa TOP o cara de componentes.....	38
Figura 4.13. Capa BOTTOM con trazado de pistas.....	39
Figura 4.14. Fitolito de la capa BOTTOM.....	40

Figura 4.15. Capa BOTTOM tras la soldadura de la PCB.	41
Figura 4.16. Capa TOP del resultado final de la PCB.	42
Figura 5.1. Esquema simulado AO comparador.	43
Figura 5.2. Gráfica simulación Amp. Comparador.	44
Figura 5.3. Gráfica Osciloscopio Amp. Comparador.	44
Figura 5.4. Esquema simulado AO seguidor.	45
Figura 5.5. Gráfica simulación Amp. Seguidor de tensión.	45
Figura 5.6. Gráfica osciloscopio Amp. Seguidor de tensión.	46
Figura 5.7. Esquema simulado AO inversor.	46
Figura 5.8. Gráfica simulación Amp. Inversor.	47
Figura 5.9. Gráfica osciloscopio Amp. Inversor.	47
Figura 5.10. Esquema simulado AO no inversor.	48
Figura 5.11. Gráfica simulación Amp. No inversor.	48
Figura 5.12. Gráfica osciloscopio Amp. No inversor.	49
Figura 5.13. Esquema simulado AO restador.	50
Figura 5.14. Gráfica simulación Amp. Restador.	51
Figura 5.15. Gráfica osciloscopio Amp. Restador.	51
Figura 5.16. Esquema simulado AO sumador inversor.	52
Figura 5.17. Gráfica simulación Amp. Sumador inversor.	52
Figura 5.18. Gráfica osciloscopio Amp. Sumador inversor.	53
Figura 5.19. Esquema simulado AO sumador no inversor.	53
Figura 5.20. Gráfica simulación Amp. Sumador no inversor.	54
Figura 5.21. Gráfica osciloscopio Amp. Sumador no inversor.	54
Figura 5.22. Esquema simulado AO integrador.	55
Figura 5.23. Gráfica simulación Amp. Integrador.	56
Figura 5.24. Gráfica osciloscopio Amp. Integrador.	56
Figura 5.25. Esquema simulado AO derivador.	57
Figura 5.26. Gráfica simulación Amp. Derivador.	57
Figura 5.27. Gráfica osciloscopio Amp. Derivador.	58
Figura 7.1. Esquema circuito electrónico reconfigurable.	75
Figura 7.2. Fotolito capa TOP.	76
Figura 7.3. Fotolito capa BOTTOM.	77

Índice de tablas

Tabla 1. Tabla de verdad estados relés.	24
Tabla 2. Resumen resultados teóricos Anexo I.	43
Tabla 3. Resumen y comparación de cálculos.	59
Tabla 7.4. Valores resistencias.	62
Tabla 5. Presupuesto de gastos materiales.	69
Tabla 6. Presupuesto de mano de obra.	70
Tabla 7. Presupuesto total bruto.	70
Tabla 8. Presupuesto final del trabajo.	71
Tabla 9. Informe lista de materiales.	79
Tabla 10. Informe Netlist.	80
Tabla 11. Informe colocación de componentes.	81

1. Introducción

1.1 Introducción general

En la actualidad, es cada vez mayor el avance de la ciencia en la implementación de circuitos electrónicos en cualquier ámbito de la sociedad, desde cualquier aparato de uso doméstico, hasta grandes obras de ingeniería.

Un circuito electrónico (CE) es una serie de interconexiones de diferentes componentes (resistencias, condensadores, bobinas, diodos, etc) que transportan una corriente eléctrica a través de un camino cerrado.

Según el tipo de señal que utilicen los circuitos pueden ser analógicos, cuando se utilizan magnitudes con valores continuos en el tiempo, digitales, cuando solo permite valores binarios (0 y 1), o mixtos cuando se emplean señales tanto analógicas como digitales.

Este trabajo desarrolla cada uno de los pasos teóricos y experimentales que se han seguido para la implementación de un circuito reconfigurable, desde el esquema electrónico hasta la realización de la placa de circuito impreso o PCB (Printed Circuit Board) donde se han empleado diferentes programas como son LTSpice y Capture CIS para la elaboración del esquema y simulación, y Allegro PCBEditor para la posterior implementación en PCB.

1.2 Objetivo general

El objetivo de este trabajo ha consistido en desarrollar un circuito electrónico reconfigurable que constituya el núcleo principal de un módulo didáctico orientado al estudio experimental de algunos de los circuitos electrónicos básicos fundamentados en el empleo del amplificador operacional $\mu A741$.

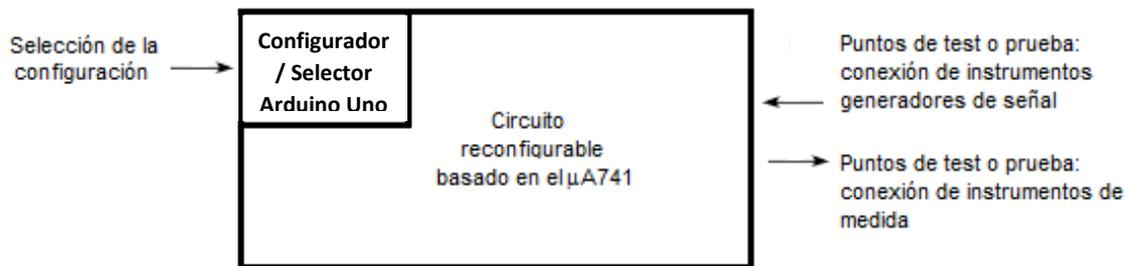


Figura 1.1. Diagrama general del circuito electrónico desarrollado.

En la Figura 1.1 se muestra el diagrama general del circuito desarrollado. En el diagrama se pueden observar dos partes perfectamente diferenciadas, el circuito electrónico reconfigurable y el circuito configurador/selector. El circuito electrónico reconfigurable, basado en el amplificador operacional $\mu A741$, emplea un conjunto de interruptores analógicos o relés (SIP-1A05) que dependiendo de su estado permiten definir la configuración del circuito a implementar. El circuito configurador/selector, basado en la plataforma de desarrollo Arduino Uno, tiene como función seleccionar el estado de los relés y, por lo tanto, establecer la funcionalidad del circuito a estudiar de manera experimental. Los circuitos electrónicos que se pueden configurar o implementar con el circuito desarrollado son un comparador, un seguidor de tensión, un amplificador en configuración inversora, en configuración no inversora, un amplificador diferenciador, un amplificador sumador inversor, un sumador no inversor, así como un integrador y un diferenciador, ambos en configuración inversora.

Por último, indicar que para realizar la placa de circuito impreso se ha utilizado el programa de software libre “Allegro PCB Editor” utilizando una PCB de una cara o SSB (*Single-Sided Board*) con un ensamblado tipo THD (*Through Hole Device*).

1.3 Objetivos específicos

Los objetivos específicos a desarrollar en este trabajo se resumen en las distintas etapas enumeradas a continuación que conllevan al desarrollo final del mismo.

- Selección del valor de los componentes pasivos.
- Esquema electrónico del circuito reconfigurable.

- Simulación de los resultados obtenidos del circuito configurador.
- Elaboración del código de programación con Arduino IDE.
- Esquema electrónico del circuito selector.
- Implementación en protoboard con los componentes reales.
- Cálculos y gráficas experimentales.
- Comparación de cálculos teóricos con los experimentales.
- Elaboración del esquema electrónico final.
- Modelación del circuito final en PCB Editor.
- Implementación en PCB del circuito electrónico reconfigurable final.

1.4 Estructura

El trabajo se divide en varios capítulos, en los cuales se van detallando cada uno de los pasos para la elaboración del circuito reconfigurable desde los primeros análisis, hasta el resultado final.

En primer lugar, una introducción general sobre el tema y los objetivos que se quieren alcanzar con la realización del mismo.

Un segundo capítulo basado en los fundamentos teóricos, donde se hace una breve explicación de los componentes que se van a utilizar y como es su funcionamiento, así como todas las configuraciones que se podrán reconfigurar con el amplificador operacional.

Una tercera parte que aborda el diseño del circuito separada en el circuito reconfigurable, el circuito selector, y el circuito electrónico final.

Un cuarto capítulo donde se detalla el proceso de fabricación de la PCB.

Un quinto capítulo dedicado a las conclusiones finales del trabajo.

Y por último, un capítulo dedicado a los Anexos, donde se puede observar el presupuesto, el código de programación, los fotolitos y los documentos de salida de la PCB entre otros.

2. Fundamentos Teóricos

2.1 Introducción

En este capítulo se abordan algunos de los aspectos teóricos implicados en el desarrollo del presente trabajo. En concreto, se describen conceptos relacionados con el amplificador operacional, los circuitos amplificadores básicos con amplificadores operacionales y los interruptores analógicos o relés de estado sólido.

2.2 Circuitos básicos

En este apartado, solo se describen los circuitos básicos que se pueden configurar con el circuito electrónico reconfigurable desarrollado en este trabajo [1][2].

2.2.1 Comparador

El Comparador es un OA que entrega a la salida el valor de voltaje equivalente al voltaje de alimentación. Para ello, compara las dos señales de entrada (una de las cuales generalmente es una tensión de referencia) y determina cuál de ellas es mayor.

En la figura 2.1 vemos que la entrada inversora está directamente conectada a tierra, mientras que en la no inversora hay una fuente de tensión V_i .

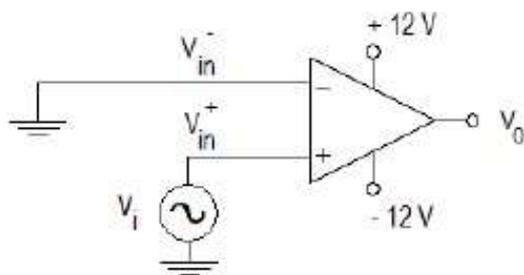


Figura 2.1. AO Comparador.

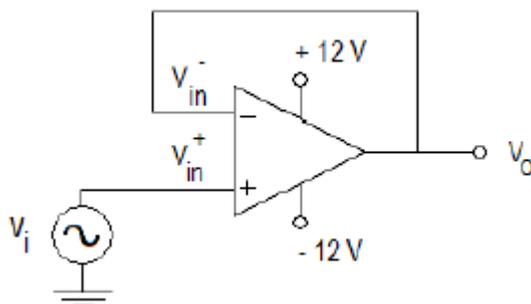
$$\text{si } V_i > 0 \rightarrow V_o = \infty \quad (\text{ec. 1})$$

$$\text{si } V_i < 0 \rightarrow V_o = -\infty \quad (\text{ec. 2})$$

El amplificador compara la señal V_i , con la señal de referencia (en este caso 0) y tiene como resultado a la salida el valor equivalente al voltaje de saturación del operacional (+12 y -12 voltios).

2.2.2 Seguidor de tensión

Un seguidor de tensión es un amplificador con realimentación en la entrada inversora, de ganancia 1, que proporciona a la salida el mismo valor de voltaje que tiene a la entrada. Presenta la ventaja de que la impedancia de entrada es elevada, la de salida prácticamente nula, y es útil como búfer, para eliminar efectos de carga o para adaptar impedancias.

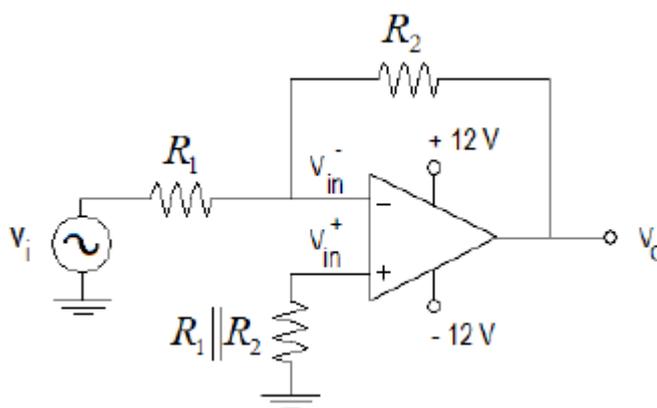


$$V_o = V_i \quad (\text{ec. 3})$$

Figura 2.2. OA seguidor de tensión.

2.2.3 Amplificador en configuración inversora

El OA inversor genera a la salida el valor de la señal de entrada, desfasada 180° mientras la amplifica.



$$V_o = -\frac{R_2}{R_1} V_i \quad (\text{ec. 4})$$

$$A_v = -\frac{R_2}{R_1} \quad (\text{ec. 5})$$

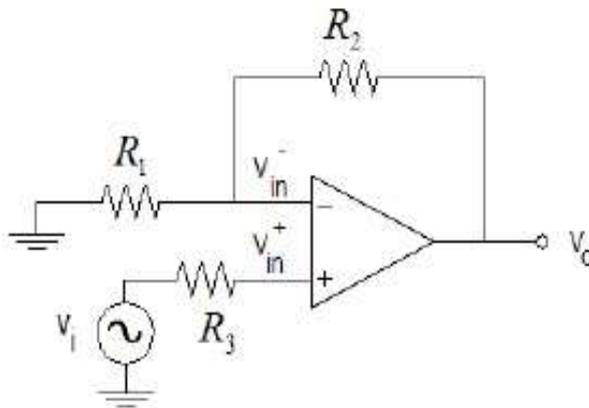
Figura 2.3. OA en configuración inversora.

La ganancia no es más que la resistencia de retroalimentación R2 dividida entre la resistencia de entrada R1, lo que significa que la ganancia únicamente depende de los

elementos externos conectados al amplificador operacional; *en este caso las dos resistencias.*

2.2.4 Amplificador en configuración no inversora

El amplificador no inversor (figura 2.4) es una de las configuraciones más usadas en la electrónica, ya que permite aumentar la señal, multiplicada por una constante (ganancia), manteniendo la misma fase.



$$V_o = \left(\frac{R_2}{R_1} + 1 \right) * V_i \quad (ec. 6)$$

$$A_v = 1 + \frac{R_2}{R_1} \quad (ec. 7)$$

Figura 2.4. OA en configuración no inversora.

La señal de entrada se aplica al terminal no inversor y su ganancia, al igual que el OA inversor, viene dada por la resistencia de realimentación entre la resistencia de entrada.

2.2.5 Amplificador diferenciador o restador

El amplificador restador calcula la diferencia entre las señales de entrada de ambos terminales positivo y negativo. Dependiendo del valor de sus resistencias, la señal resulta amplificada.

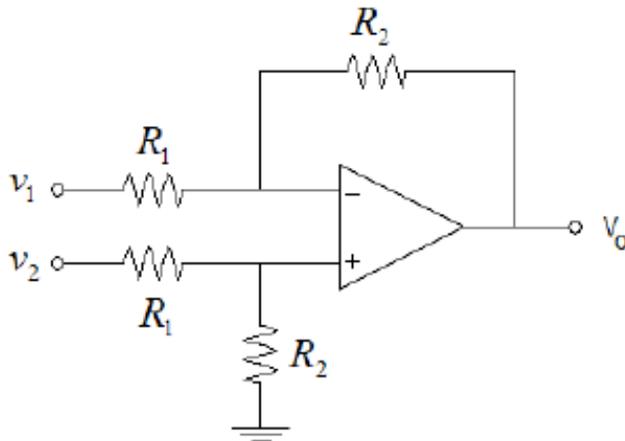


Figura 2.5. OA Diferenciador o restador.

$$V_o = \frac{R_2}{R_1}(V_2 - V_1) \quad (ec. 8)$$

$$Av = \frac{R_2}{R_1} \quad (ec. 9)$$

$$V_2 - V_1 = V_d \quad (ec. 10)$$

$V_d =$ Entrada en modo diferencial

2.2.6 Amplificador sumador inversor

El OA sumador inversor (figura 2.6) se construye a partir de la configuración básica del amplificador inversor, mediante una combinación de dos o más entradas. La salida es directamente proporcional a la suma de las entradas y signo opuesto, como se ha visto con el inversor.

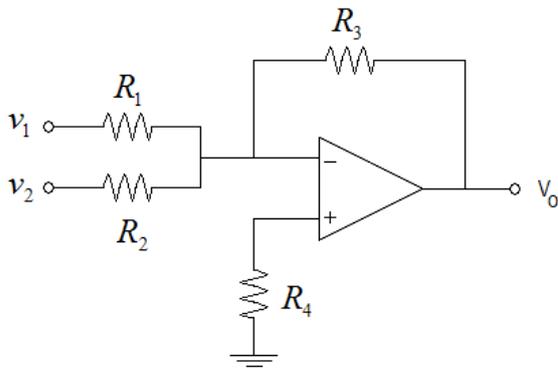


Figura 2.6. OA sumador inversor.

$$V_o = -R_3 \left(\frac{V_1}{R_1} + \frac{V_2}{R_2} \right) \quad (ec. 11)$$

Si $R_1 = R_2 = R_3$

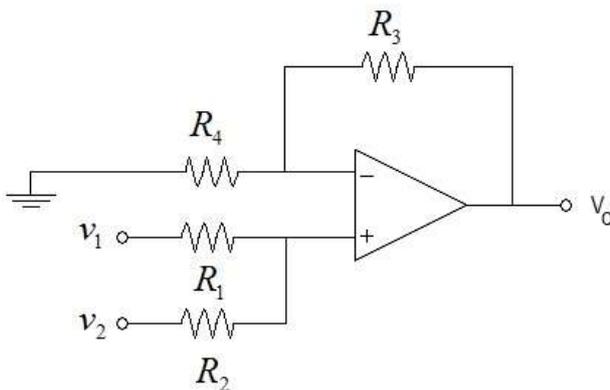
$$V_o = -(V_1 + V_2) \quad (ec. 12)$$

El OA sumador amplifica cada una de las ganancias, que viene dada por el cociente de la resistencia de realimentación y la resistencia de entrada, de modo que, para saber la ganancia de cualquier número de entrada:

$$Av_n = -\frac{R_3}{R_n} \quad (ec. 13)$$

2.2.7 Sumador no inversor

El OA sumador no inversor (figura 2.7), al contrario que el sumador inversor, se construye mediante una combinación de dos o más entradas, pero en esta ocasión, conectadas al terminal positivo. La salida es directamente proporcional a la suma de las entradas y amplificada, como en la configuración no inversora.



$$V_o = \frac{R_3 + R_4}{R_4} * \frac{V_2 * R_1 + V_1 * R_2}{R_1 + R_2} \quad (ec. 14)$$

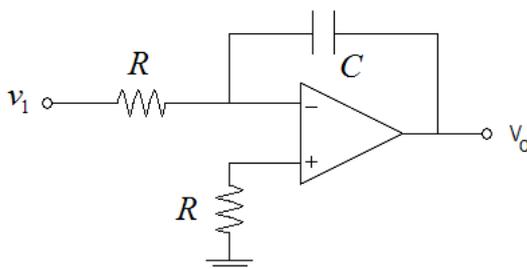
Si $R_1 = R_2 = R$

$$V_o = \frac{R_3 + R_4}{2 * R_4} (V_1 + V_2) \quad (ec. 15)$$

Figura 2.7. OA sumador no inversor.

2.2.8 Amplificador Integrador en configuración inversora

El OA Integrador (figura 2.8) realiza la función lineal de integración incorporando un condensador en el circuito de realimentación, lo que nos da a la salida, la integral de la señal de entrada, cuyo análisis se realiza con la expresión:



$$V_o = -\frac{1}{RC} \int_0^t V_i(t) dt \quad (ec. 16)$$

Figura 2.8. OA Integrador.

Si aplicamos una señal de entrada que cambia constantemente, como una onda cuadrada, el condensador se carga y descarga en respuesta a los cambios en la señal de entrada. Esto da como resultado que la señal de salida sea la de una forma de onda de diente de sierra cuya salida se ve afectada por la constante de tiempo RC porque a

frecuencias más altas, el condensador tiene menos tiempo para cargarse completamente. Este tipo de circuito también se conoce como generador de rampa.

2.2.9 Amplificador Diferenciador en configuración inversora (Derivador)

EL OA derivador (figura 2.9) produce una salida proporcional al ritmo de cambio de la entrada (derivada).

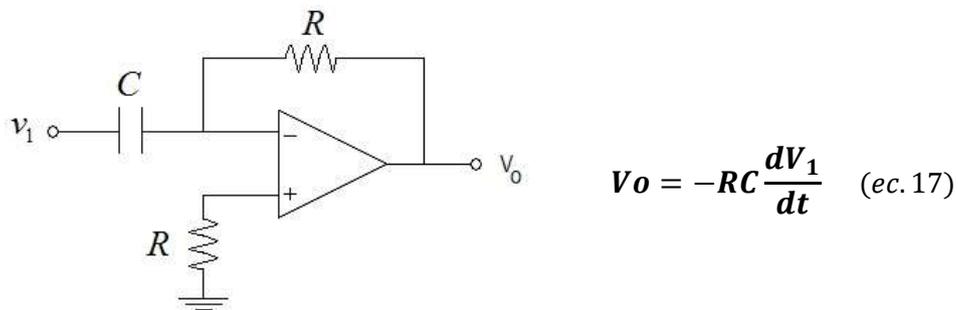


Figura 2.9. OA derivador.

El principio de su funcionamiento se basa en la función matemática de la derivada, por ejemplo:

Si ingresamos en la entrada una señal triangular, en la salida se obtendrá su derivada, lo que dará como resultado una señal cuadrada.

2.3 Componentes del circuito reconfigurable

2.3.1 Amplificador operacional

El amplificador operacional (OA) es un circuito electrónico integrado que se comporta como amplificador diferencial de gran ganancia en lazo abierto.



Figura 2.10. Amplificador Operacional $\mu A741$.

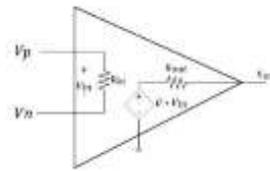


Figura 2.11. Modelo ideal Amplificador operacional.

El más extendido es el OVA (Amplificador operacional de tensión) que presenta una entrada diferencial, y salida única. Como se muestra en la figura 2.12; la primera etapa consiste en convertir la entrada diferencial a única, proporcionando una primera ganancia. La segunda es la de ganancia. La tercera, se encarga de fijar la tensión de continua de salida a unos niveles apropiados. Y la cuarta etapa es la que proporciona una baja impedancia de salida.

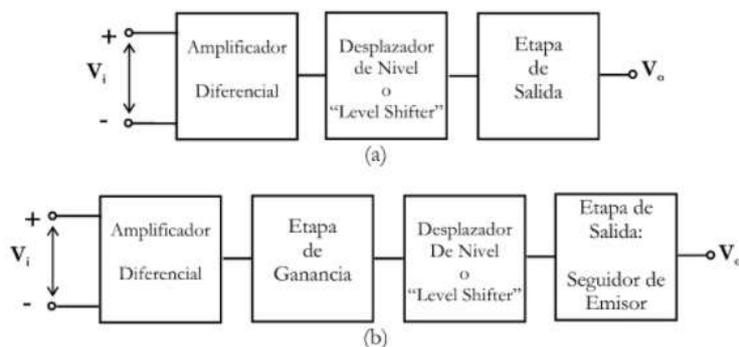


Figura 2.12. Diagrama de bloques de un OVA de una y dos etapas.

Según su configuración, a menudo los OA presentan una realimentación negativa que consiste en introducir una muestra de la salida en el circuito de entrada. En el caso de este trabajo, la realimentación se realiza en la parte inversora del OA (figura 2.13). La finalidad de la realimentación es estabilizar la salida de forma que, en el estado estacionario, la salida tome un valor controlado.

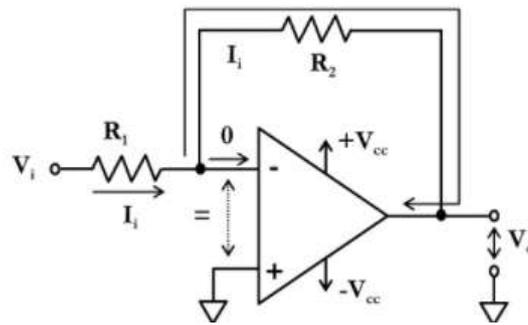


Figura 2.13. Amplificador operacional con realimentación negativa en configuración inversora.

En un OA ideal, la realimentación negativa fuerza el cortocircuito virtual de modo que se produce una situación de equilibrio y la tensión diferencial se iguala $V^+ = V^-$ o lo que es lo mismo, la tensión diferencial es nula.

Para la realización de este trabajo se ha empleado el amplificador operacional μ A741 cuyas características están presentes en la hoja de datos del Anexo 7.7.2.

2.3.2 Relés de estado sólido o interruptores analógicos

Un relé de estado sólido (Solid-State Relays) es un dispositivo interruptor electrónico que conmuta el paso de la electricidad cuando una pequeña corriente es aplicada en sus terminales de control. Los SSR consisten en un sensor que responde a una entrada apropiada (señal de control), un interruptor electrónico de estado sólido que conmuta el circuito de carga, y un mecanismo de acoplamiento a partir de la señal de control que activa este interruptor sin partes mecánicas. El relé puede estar diseñado para conmutar corriente alterna o continua.

Para este trabajo se han empleado un total de 18 relés de estado sólido SIP-1A05 cuyas características están presentes en el Anexo 7.7.3.



Figura 2.14. Relé de estado sólido SIP-1A05.

3. Diseño del circuito electrónico

3.1 Introducción

Como se indicó con anterioridad, el circuito electrónico desarrollado en este trabajo consta de dos partes perfectamente diferenciadas, el circuito electrónico reconfigurable y el circuito configurador/selector (Figura 2.1).

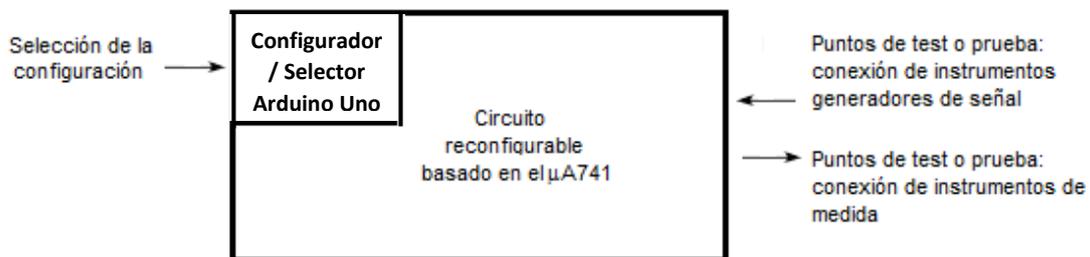


Figura 3.1. Diagrama general del circuito electrónico desarrollado.

El circuito electrónico reconfigurable, basado en el amplificador operacional $\mu A741$, emplea un conjunto de interruptores analógicos o relés (SIP-1A05) que dependiendo de su estado permiten definir la configuración del circuito a implementar, mientras que el circuito configurador/selector, basado en la plataforma de desarrollo Arduino Uno, tiene como función seleccionar el estado de los relés y, por lo tanto, establecer la funcionalidad del circuito a estudiar de manera experimental. A continuación, se describe cada una de las partes de las que consta el circuito electrónico desarrollado [3].

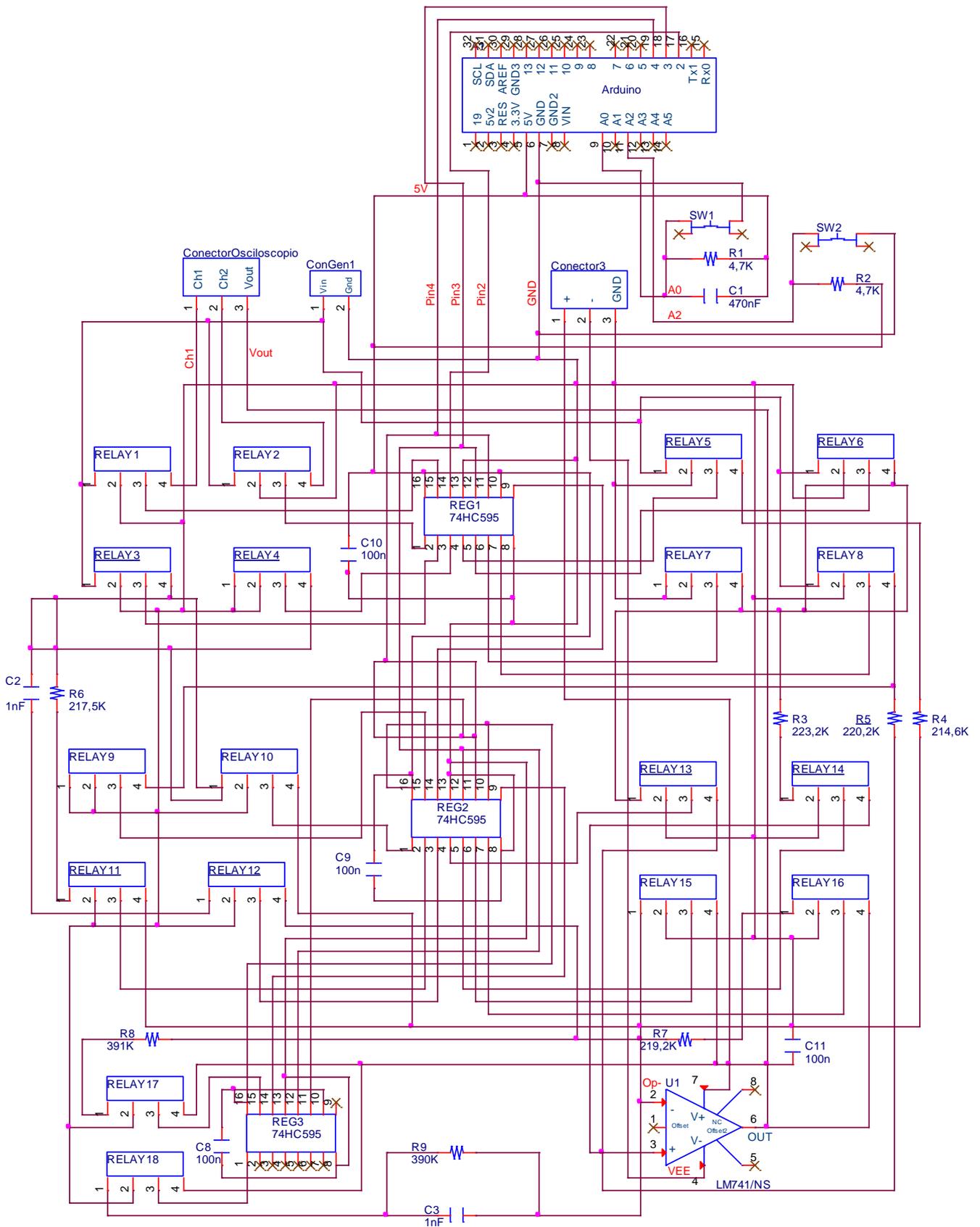


Figura 3.2. Esquema del circuito electrónico reconfigurable completo.

3.2 Circuito electrónico reconfigurable

Para el diseño del circuito electrónico reconfigurable, se ha partido de las distintas configuraciones posibles a implementar vistas en el apartado 2.2 y como afectan al funcionamiento del operacional. De este modo, haciendo el estudio de cada circuito básico se ha llegado a la resolución del siguiente esquema electrónico (figura 3.3).

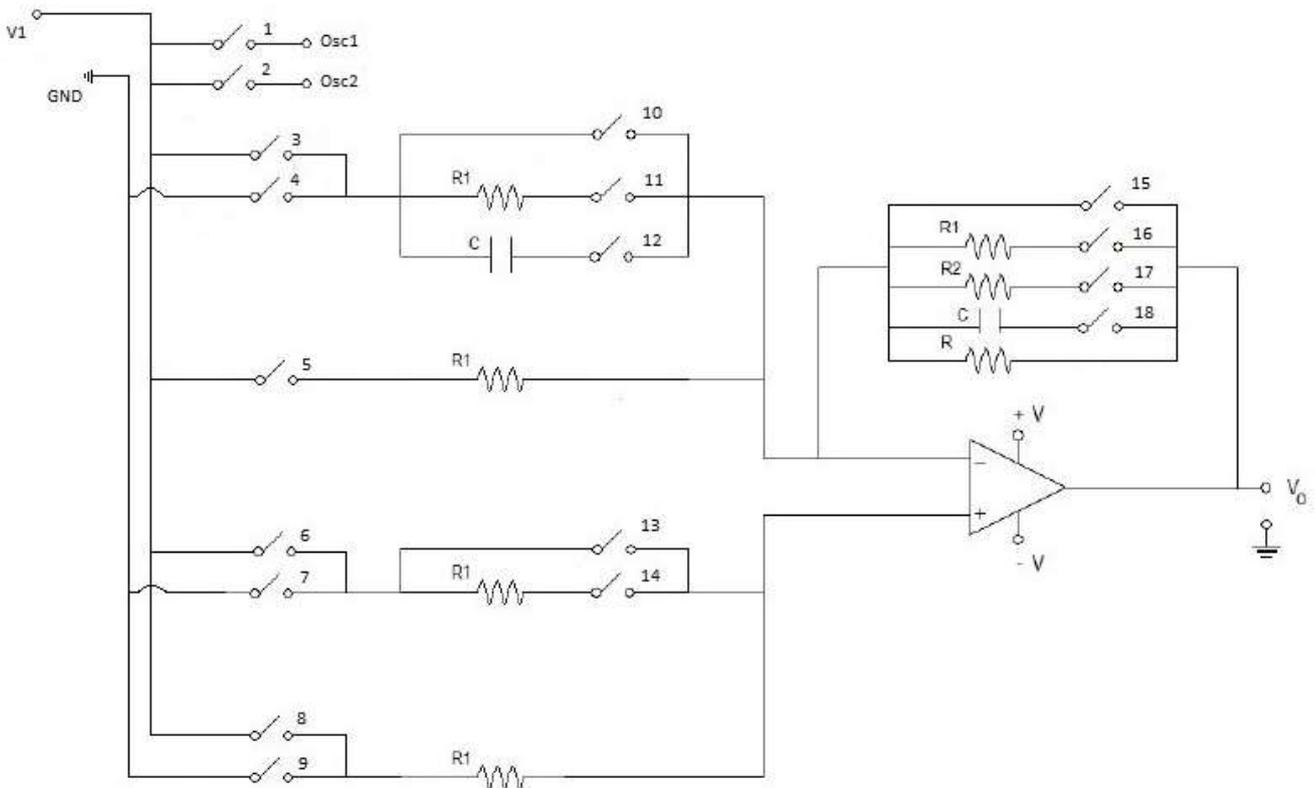


Figura 3.3. Esquema electrónico simplificado del circuito reconfigurable.

En este circuito se ha empleado una señal de entrada, sea continua o alterna (V1), la cual está directamente conectada a dos canales del osciloscopio (Osc1 y Osc2) de manera que se observan dos señales simultáneamente, y una señal de tierra (GND). El circuito está dividido en dos ramas superiores, conectadas al terminal inversor (-) y a la realimentación del operacional, y dos ramas inferiores, conectadas al terminal no inversor (+) del AO.

Cada rama posee un módulo de componentes, que inicialmente constaba de una línea de tierra, dos resistencias y un condensador, todos ellos conectados en paralelo, que se ha simplificado hasta obtener el esquema de la figura 3.3.

Para la realimentación inversora se ha utilizado un condensador de 1nF, varios valores de resistencia y una línea de tierra que definen los diferentes circuitos básicos a implementar, cuya configuración depende del estado de los 18 relés que son definidos por el circuito configurador.

Para la simulación de este esquema se ha utilizado el programa de simulación de circuitos electrónicos “LTSpice” partiendo de unos valores de resistencias R1 y R2 de 4,7 k Ω y 10 k Ω respectivamente, y unos condensadores C de 4,7 μ F. Para la simulación de los relés se utiliza unos interruptores controlados por voltaje, alimentados con una tensión de 5V.

Una vez comprobado mediante las simulaciones el correcto funcionamiento de cada configuración del operacional, se implementa el circuito configurador en una protoboard para obtener resultados reales de cada circuito básico, cuyos valores pueden diferir respecto a los simulados dado que el AO no trabaja en condiciones ideales.

3.3 Circuito configurador/selector

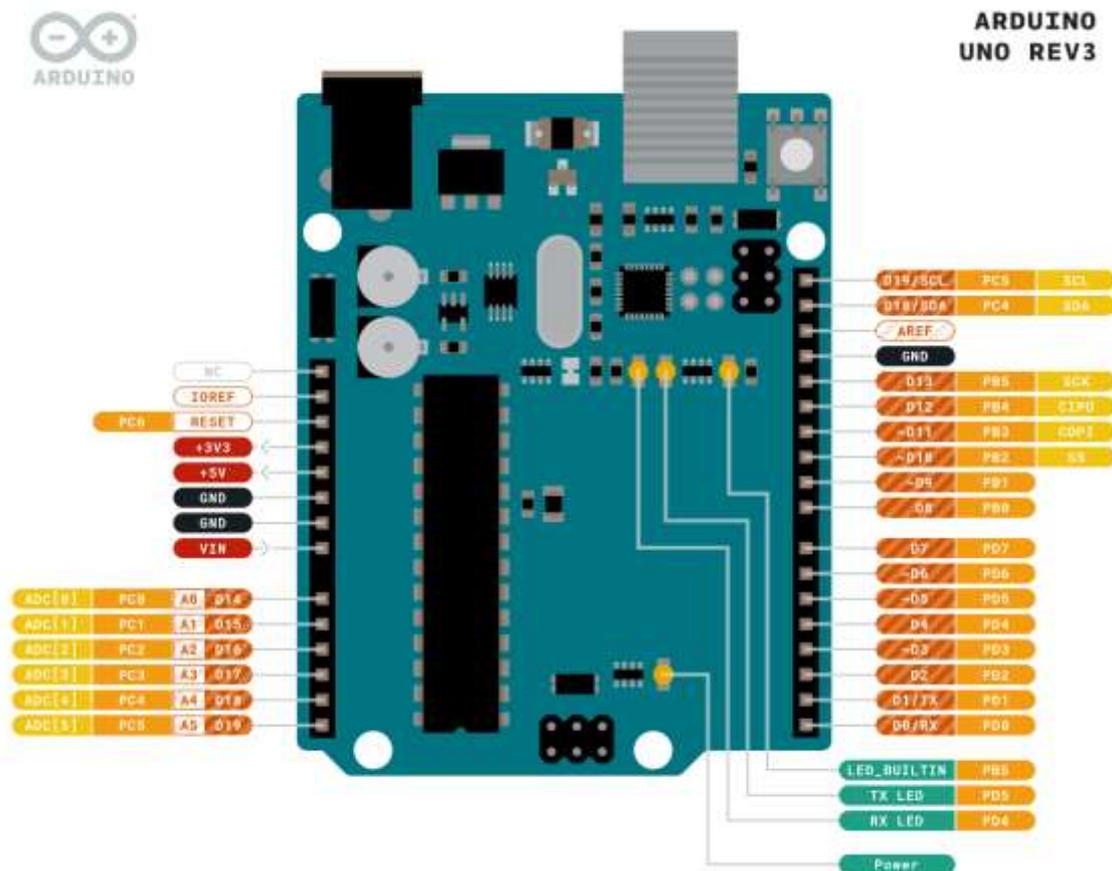
El circuito selector tiene como objetivo establecer la funcionalidad del circuito electrónico mediante el estado de los relés y unos registros de desplazamiento.

Para controlar estos registros, se utiliza la plataforma de desarrollo Arduino Uno [4]. Este microcontrolador se configura mediante el programa libre “Arduino IDE” (figura 3.4). El microcontrolador se conecta a un ordenador a través de un USB, donde se conecta con el entorno de desarrollo (IDE). Se escribe el código en el programa, y luego se sube al microcontrolador que lo ejecuta, interactuando con las entradas y salidas como sensores, motores y luces.



Figura 3.4. Entorno de desarrollo Arduino IDE.

Para el diseño de este circuito, solo se necesita el uso de 7 pines del microcontrolador (figura 3.5) definidos en el código de programación que serán:



Los pines 2, 3 y 4 para controlar el Latch, Clock y Data de los registros (pines SHCP, STCP y DS de la figura 3.8 respectivamente).

Los pines de alimentación de 5V y GND.

Y los pines A0 y A2 que se utilizan para seleccionar la configuración del amplificador empleando 2 pulsadores de membrana que están definidos en el código de programación.

El código de programación generado (ver anexo III) se implementa a la PCB del controlador mediante un cable USB tipo B conectado directamente al ordenador que se encarga de proporcionar la alimentación de la PCB.

Los registros de desplazamiento se alimentan con los 5V del Arduino y poseen 8 salidas en paralelo que van desde Q0 hasta Q7, cuyo valor HIGH o LOW (abierto o cerrado) está definido por el código, controlando así el estado de los relés en función de estas salidas.

Para la elección de los 18 relés con cada salida Qx del registro se ha realizado una tabla de verdad (tabla I) para determinar las salidas correspondientes a cada configuración, definidas en el código de programación.

Tabla de verdad																		
Relé	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Comparador	1	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0
Seguidor	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0
Inversor	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0
No Inversor	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0
Restador	1	1	0	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0	0
Sum. Inversor	1	1	1	0	1	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0
Sum. No Inversor	1	1	0	1	0	1	0	1	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0
Integrador	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1
Derivador	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	0

Tabla 1. Tabla de verdad estados relés.

En esta tabla se muestra los diferentes estados de cada relé dependiendo de la configuración que se desee implementar, donde el valor 0 = relé abierto (no circula corriente), y el valor 1 = relé cerrado (permite el paso de la corriente).

Para definir dicha tabla en el código de programación se ha dividido en dos conjuntos de números binarios de 8 bits y otro con los 2 bits restantes tomando los valores más significativos (MSB), y posteriormente se ha transformado en valores decimales, presentes en el código de programación.

3.4 Componentes del circuito selector

3.4.1 Microprocesador Arduino

El Arduino (figura 3.6) es una placa de circuito impreso basada en un microcontrolador Atmel ATmega328 [4]. Los microcontroladores son circuitos integrados en los que se pueden grabar instrucciones, las cuales las escribes con el lenguaje de programación que puedes utilizar en el entorno Arduino IDE. Estas instrucciones permiten crear programas que interactúan con los circuitos de la PCB.



Figura 3.6. Microcontrolador Arduino Uno.

En el caso de este trabajo, se utiliza el Arduino Uno para controlar los estados de los registros de desplazamientos, y por tanto, el estado de los relés para establecer la configuración del AO.

3.4.2 Registro de desplazamiento

El registro de desplazamiento 74HC595N es un circuito integrado (CI) de 8-bit, es decir, tiene 8 biestables para almacenar 8 bits. El pin-out de este chip (figura 3.8) cuenta con Vcc y GND para la alimentación, y luego las marcadas como Q, que son los pines de datos. El resto de pines (SHCP, STCP y DS) corresponden a señales de reloj/control.



Figura 3.7. Circuito integrado 74HC595.

Figura 3.8. Mapa de pines 74HC595.

El CI posee una entrada en serie y salida en paralelo. Por tanto, con una sola entrada, se pueden controlar a la vez 8 salidas. Para su funcionamiento, solo necesita tres pines del microcontrolador que son Latch, Clock y Data.

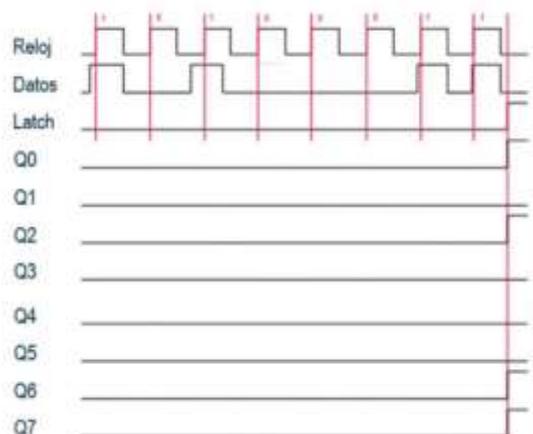


Figura 3.9. Cronograma del funcionamiento del CI 74HC595N.

La señal de reloj del Arduino alimenta al circuito para determinar el compás o ritmo al que va a trabajar. La salida de datos cambia el comportamiento del chip. Por ejemplo, al cambiar de LOW a HIGH y generar el nuevo pulso de reloj pasando el clock de HIGH a LOW, lo que se consigue es grabar la posición actual donde se encuentre el desplazamiento el valor ingresado por este pin de datos. Si se repite esto 8 veces, se graban las 8 posiciones y obtiene un byte almacenado (Q0-Q7).

3.5 Implementación en protoboard

Una vez desarrolladas las dos partes del circuito, se realizan las pruebas experimentales en un laboratorio para ver los resultados reales de su comportamiento. Para evitar el exceso de colocación de los componentes en una zona reducida y poder realizar con claridad las mediciones, se han usado dos protoboards EIC-104 (figura 3.10) conectadas en serie al Arduino, alimentadas con 5V.

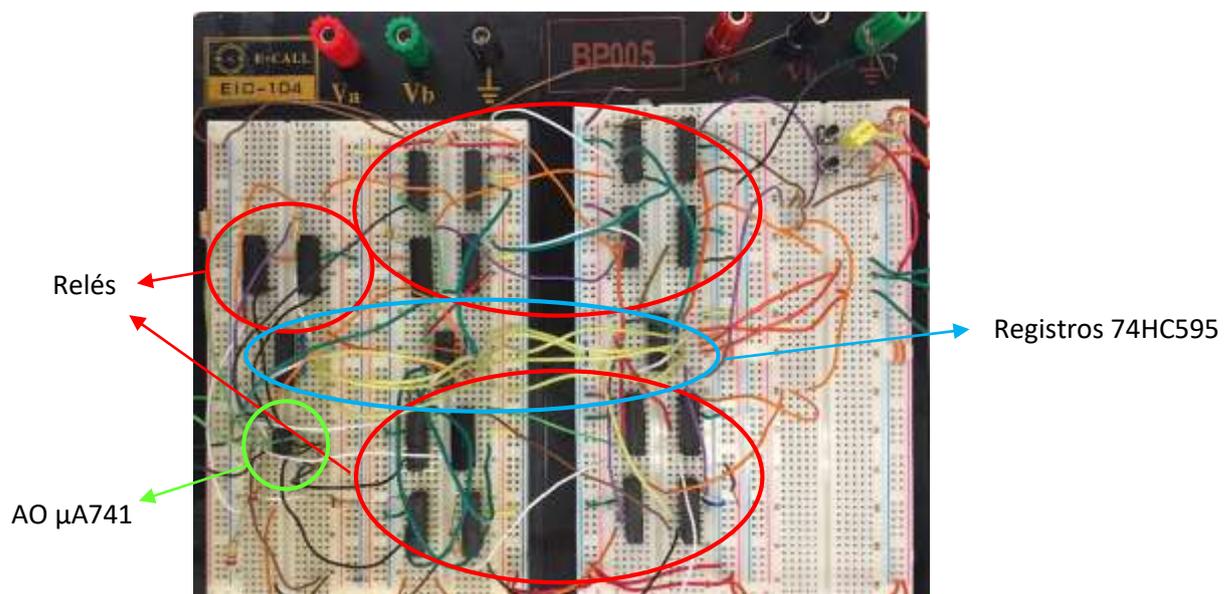


Figura 3.10. Protoboard EIC-104, con el circuito electrónico final implementado.

La conexión entre los componentes se realiza siguiendo el esquema de la figura apartado 3.2. Los pulsadores están conectados con una patilla a tierra, y la otra al pin correspondiente del Arduino (A0 y A2), con una resistencia de 4,7 k Ω para conseguir reducir la alta impedancia y asegurarse que cuando esté presionado, genere a la salida el valor HIGH, y un condensador de 470 nF para evitar el “efecto rebote” y así asegurar un solo pulso cuando se presione.

Para la conexión de los registros se sigue el esquema de la figura 3.8 donde se alimentan con 5V del Arduino y se conectan en serie entre sí para implementar los 18 relés.

Del mismo modo, cada relé se conecta como se muestra en la figura 3.11, conectando la patilla 2 a tierra y la patilla 3 al estado Qx que le corresponda, y las patillas 1 y 4 siguiendo el esquema del circuito electrónico reconfigurable de la figura 3.2.

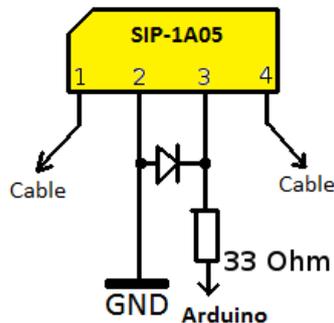


Figura 3.11. Conexión de relé SIP-1A05.

El amplificador se conecta siguiendo el pinout de la figura 3.12, conectando las patillas 2 y 3 al circuito, y la 6 a la salida donde se toman las mediciones. Para la alimentación del operacional se utiliza una fuente externa, conectada directamente a la protoboard, generando una señal de +12 y -12V conectadas a las patillas 4 y 6.

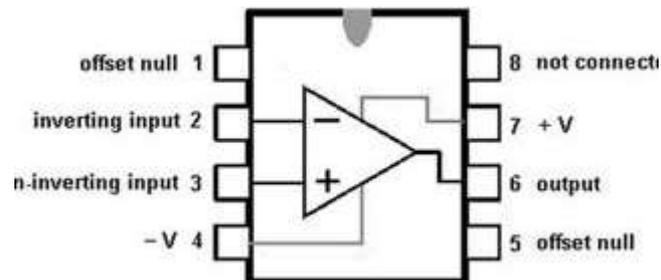


Figura 3.12. Mapa de pines operacional 741.

Finalmente se realizan las mediciones a la salida del amplificador (capítulo 5) para comprobar el funcionamiento del AO. Para la toma de mediciones, se utiliza un generador de señales para alimentar el circuito, una fuente de alimentación para el operacional, y un osciloscopio de tres canales para realizar la toma de mediciones tomando un canal a la salida del operacional, y los otros dos a la señal de entrada del circuito.

3.6 Circuito electrónico final

Ya obtenidos todos los cálculos experimentales, y comprobado que el operacional se comporta correctamente para cada configuración, se redefine el circuito inicial con las últimas modificaciones que han surgido de la implementación en la protoboard.

Para el diseño final del circuito electrónico se han utilizado valores de $R1 = 220 \text{ k}\Omega$ y $R2 = 390 \text{ k}\Omega$ (para limitar el paso de la corriente a los componentes y que no se vean afectados por el uso continuado) y $C = 1 \text{ nF}$ para los condensadores.

Si el valor de los datos experimentales, da como resultado unos valores semejantes a los calculados mediante las simulaciones y los cálculos teóricos (los cálculos experimentales no siempre son exactos ya que los componentes no trabajan de forma ideal), se procede a la fabricación del circuito impreso en la PCB.



Figura 3.13. Puesto de laboratorio, con protoboard y aparatos de medida.

Del mismo modo, el esquema simplificado del circuito electrónico reconfigurable presenta la configuración mostrada en la figura 3.14, donde se muestra el valor experimental de los componentes, tomados en el laboratorio mediante un multímetro digital (tabla I).

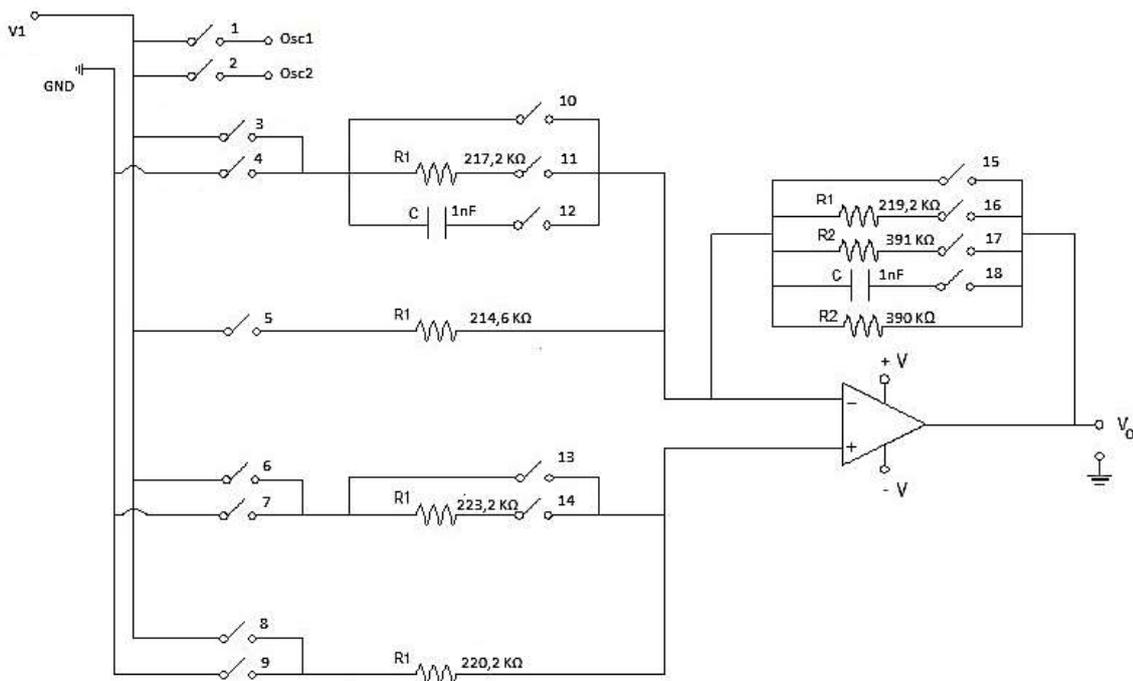


Figura 3.14. Esquema final simplificado del circuito electrónico reconfigurable.

4. Diseño PCB (Printed Circuit Board)

4.1 Introducción

En este capítulo se describe el proceso de elaboración de la PCB del circuito electrónico reconfigurable en el cual se emplea el programa Orcad Capture CIS para elaborar el circuito esquemático, donde se definen todos los componentes y las conexiones entre ellos, aportando toda la información necesaria para posteriormente importarla en Allegro PCB Editor, donde se realiza el diseño final de la PCB, siguiendo unas reglas de diseño hasta la posterior obtención de los fotolitos (anexo V), necesarios para la fabricación química de la PCB [5].

4.2 Orcad Capture CIS (Diseño esquemático)

La elaboración del diseño esquemático es un paso esencial para la fabricación de la PCB ya que proporciona toda la información necesaria de todos los componentes y como van conectados entre ellos. Para realizar este esquema electrónico se hace uso del programa Orcad Capture CIS [6].

Para empezar, se crea una librería con cada uno de los componentes que conforman el circuito (figura 4.1) donde se define la representación simbólica del componente, con la numeración de cada uno de los pines en relación al empaquetado y su funcionamiento.

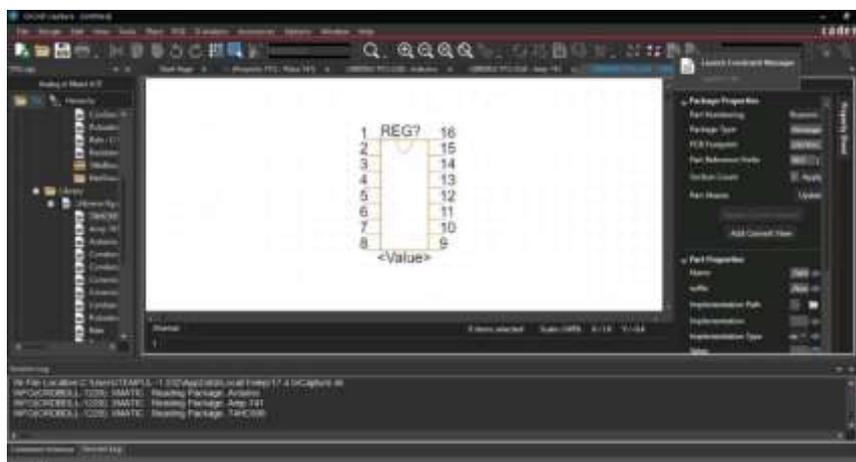


Figura 4.1. Creación de librería de componentes.

Una vez creada la librería con todos los elementos que se van a utilizar se realizan las conexiones resultantes del circuito reconfigurable y del circuito selector, de igual forma que se realiza en el laboratorio, conexionando cada uno de los pines hasta formar el esquema completo, con el que crearemos la PCB.

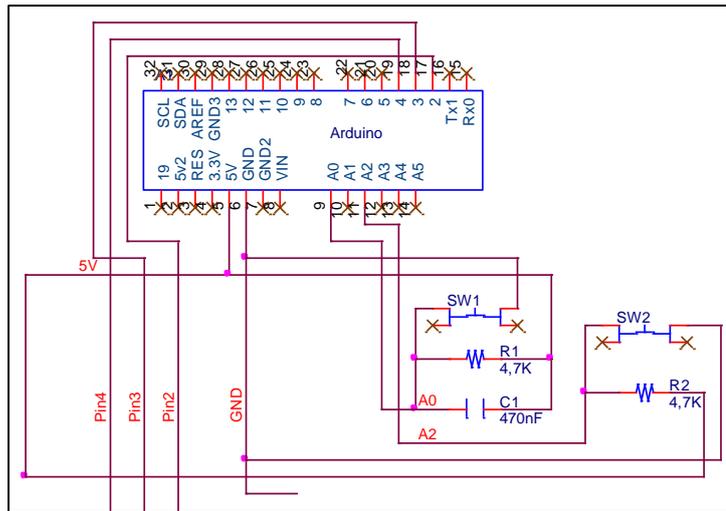


Figura 4.2. Diagrama de conexión Arduino y Switches.

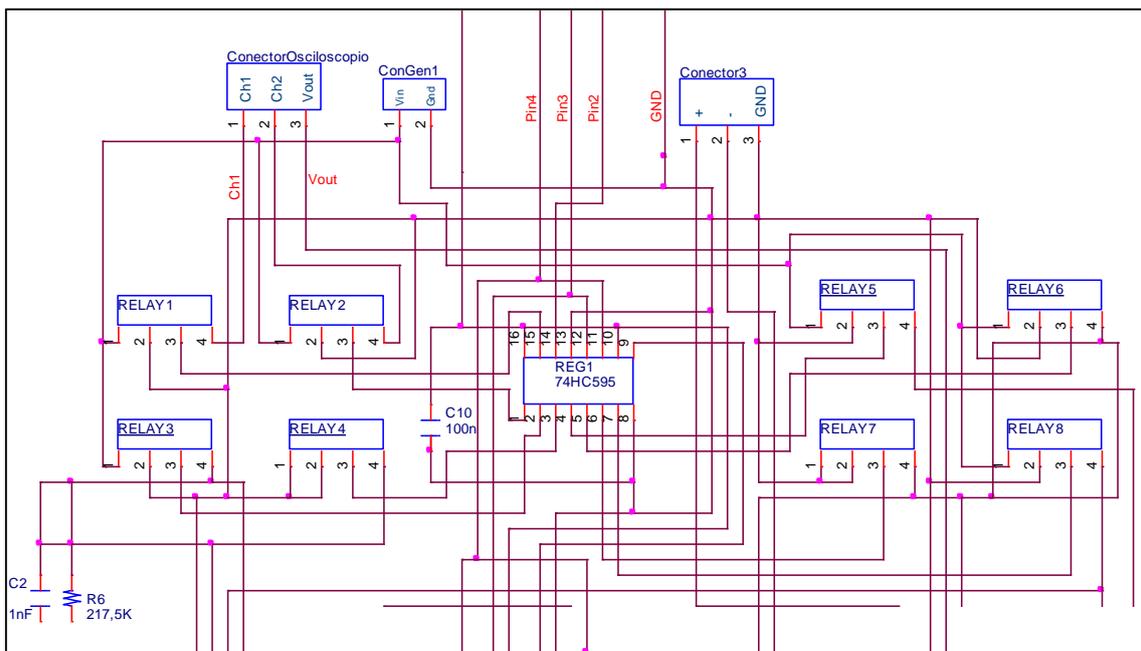


Figura 4.3. Diagrama de conexión de conectores y relés del registro 1.

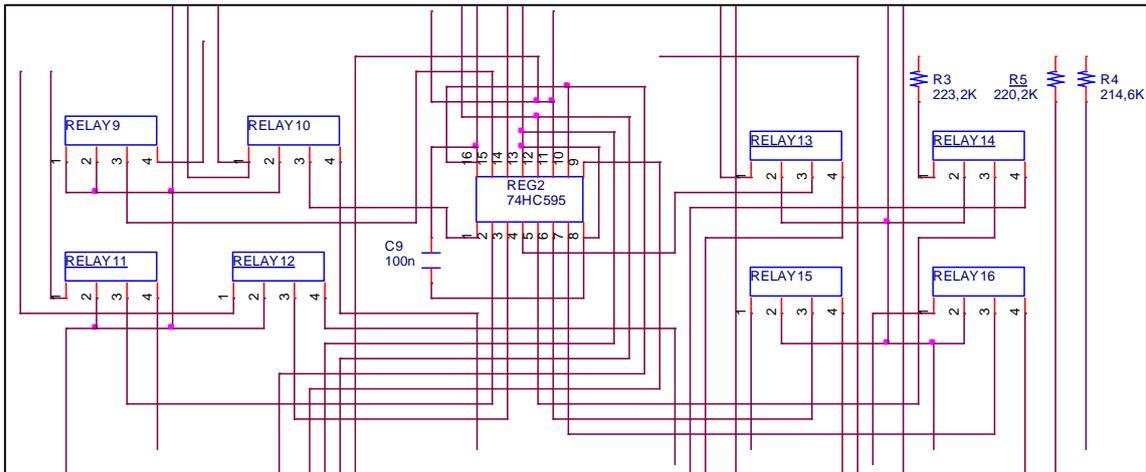


Figura 4.4. Diagrama de conexión de relés del registro 2.

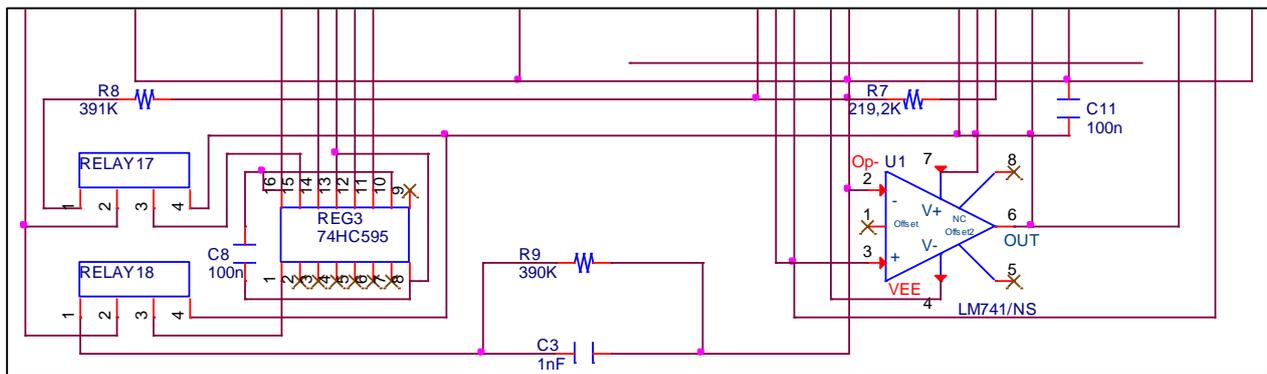


Figura 4.5. Diagrama de conexión del AO y relés del registro 3.

Además de todos los elementos mencionados, se han incorporado unos condensadores de desacoplo de 100nF a cada uno de los circuitos integrados, colocados lo más próximo posible a los pines de alimentación, para filtrar los posibles ruidos de alta frecuencia y derivarlos a tierra, con el fin de poder tener una señal limpia. Los pines inhabilitados de los componentes se representan en el esquema por el símbolo X (figura 4.6).

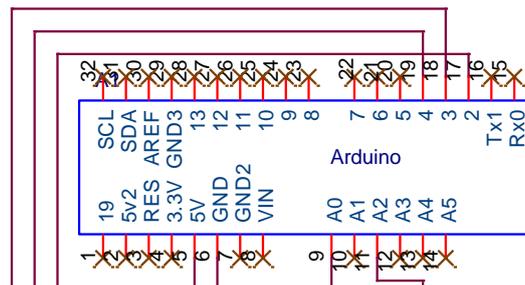


Figura 4.6. Pines inhabilitados componente Arduino.

Cada componente utilizado en el circuito esquemático necesita tener una huella o footprint que debe ser implementada en su respectiva librería. Estas huellas son creadas con el PCB Editor que veremos en el capítulo 4.3.1, para aportar toda la información necesaria de cada componente para su procesado en PCB.

Una vez estén todos los footprints asignados, el último paso para poder consiste en generar el Netlist del circuito.

El Netlist describe las conexiones eléctricas del circuito y de los encapsulados, e información del circuito impreso, nodos, pines y componentes, necesaria para diseñar las pistas que conectan los componentes en la PCB.

```

1: FILE_TYPE = EXPANDEDNETLIST;
2: { Using PSTWRITER 17.4.0 d001 on Jul-14-2021 at 22:39:21 }
3: NET_NAME
4: 'N05450'
5: '@TFG.PROYECTO TFG(SCH_1):N05450':
6: C_SIGNAL='@tfg.\proyecto tfg\sch_1:n05450';
7: NODE_NAME RELAY1 3
8: '@TFG.PROYECTO TFG(SCH_1):INS4481@LIBRERIA TFG.RELE.NORMAL(CHIPS)':
9: '5';;
10: NODE_NAME REG1 15
11: '@TFG.PROYECTO TFG(SCH_1):INS4153@LIBRERIA TFG.74HC595.NORMAL(CHIPS)':
12: '15';;
13: NET_NAME
14: 'N05918'
15: '@TFG.PROYECTO TFG(SCH_1):N05918':
16: C_SIGNAL='@tfg.\proyecto tfg\sch_1:n05918';
17: NODE_NAME RELAY2 3
18: '@TFG.PROYECTO TFG(SCH_1):INS4501@LIBRERIA TFG.RELE.NORMAL(CHIPS)':
19: '5';;
20: NODE_NAME REG1 1
21: '@TFG.PROYECTO TFG(SCH_1):INS4153@LIBRERIA TFG.74HC595.NORMAL(CHIPS)':
22: '1';;
23: NET_NAME
24: 'N05905'
25: '@TFG.PROYECTO TFG(SCH_1):N05905':
26: C_SIGNAL='@tfg.\proyecto tfg\sch_1:n05905';

```

Figura 4.7. Fichero de conexiones Netlist.

Otro fichero importante a tener en cuenta es la lista de materiales (Bill of materials), un archivo con extensión .BOM que muestra el valor del componente, así como la referencia y la cantidad (ver ANEXO VI).

Con todos estos datos, una vez definido todos los footprints, y generado el Netlist, se diseña la PCB a través del programa PCB Editor [7], como se detalla a continuación.

4.3 PCB Editor (Layout)

4.3.1 Creación de huellas (footprints)

El primer paso para el diseño de la PCB es la realización de los footprint de cada componente que se implementa.

Los Footprints (fichero.dra) son la descripción física de un componente y está formado por tres elementos: padstacks, obstacles y texto, cuya información es sumamente importante para la impresión y posterior taladrado.

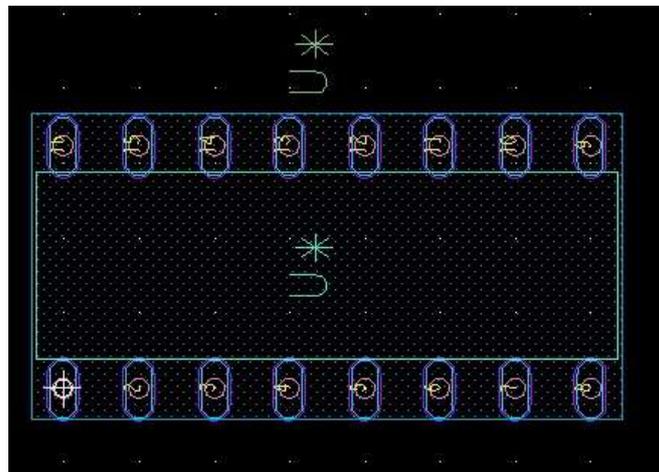


Figura 4.8. Footprint SN74HC595N.

Creadas estas huellas, deben definirse en la librería correspondiente de cada componente del esquema electrónico para su posterior diseño.

Padstacks: Un Pad es una superficie de cobre en un circuito impreso o que permite soldar el componente a la PCB.

Para este diseño, se usa un Pad ovalado de 1.6mm x 2 mm con un taladro de 1.3mm de diámetro para los conectores, otro de 0.8mm con forma ovalada para encapsulados, y con forma circular para condensadores, resistencias, relés y pulsadores.



Figura 4.9. Creación de Pads.

Obstacles: son las líneas de contorno que definen las dimensiones del componente donde se coloca en la PCB. Estas medidas vienen proporcionadas por los datasheets de las empresas suministradoras o en su caso, se toman con la mayor precisión posible con la ayuda de un elemento de precisión como el calibre.

Texto: nos proporciona información extra como puede ser el nombre del componente o las dimensiones del mismo.

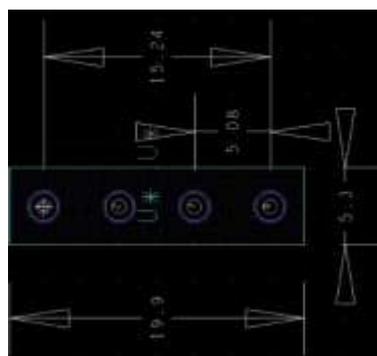


Figura 4.10. Medidas footprint relé SIP-1A05.

Todos los footprint son creados con la mayor precisión posible, ya que de ellos depende el diseño final de la PCB, puesto que posteriormente tienen que ser taladrados para la colocación de los componentes físicos.

4.3.2 Creación de la PCB

Para diseñar la PCB lo primero que se debe hacer es crear el contorno. Hay que tener en cuenta los componentes que se van a utilizar y su tamaño para estimar las medidas de manera que sea lo suficientemente amplia para que los elementos tengan una cierta separación por donde poder diseñar las pistas.

Para este diseño, se utiliza una PCB de una sola cara, utilizando la técnica de montaje THD (Through Hole Device), la cual consiste en usar agujeros pasantes para el montaje de los componentes, con una medida de 186,2mm x 174,4mm.

Al tratarse de una PCB de una sola cara, se crean dos capas principales denominadas capa TOP y capa BOTTOM.

La capa TOP se diseña para la colocación de los componentes en las que hay que tener en cuenta una serie de reglas básicas, entre otras.

Se suele realizar seleccionando los elementos progresivamente de manera adecuada y lógica basándose en el modelo esquemático. Se han de colocar con una separación mínima $>5\text{mm}$. Los componentes han de colocarse paralelos a la PCB. Cuando se trata de elementos como los conectores, estos deben colocarse al borde de la PCB para facilitar la conexión o desconexión. Estos conectores son un conjunto de dos o más puntos de conexión atornillados que se emplean para conectar cables y generar una conexión eléctrica que permite, en este caso, tomar medidas y conectar generadores de señales o alimentar el CI.

Para una mayor utilidad, todos los componentes que disponen de conexiones externas se colocan en los bordes de la PCB para realizar una conexión inmediata a través de los conectores.



Figura 4.11. Conector o bloque de terminal.

Los circuitos integrados con mayor número de conexiones entre sí, deben estar lo más cerca posible.

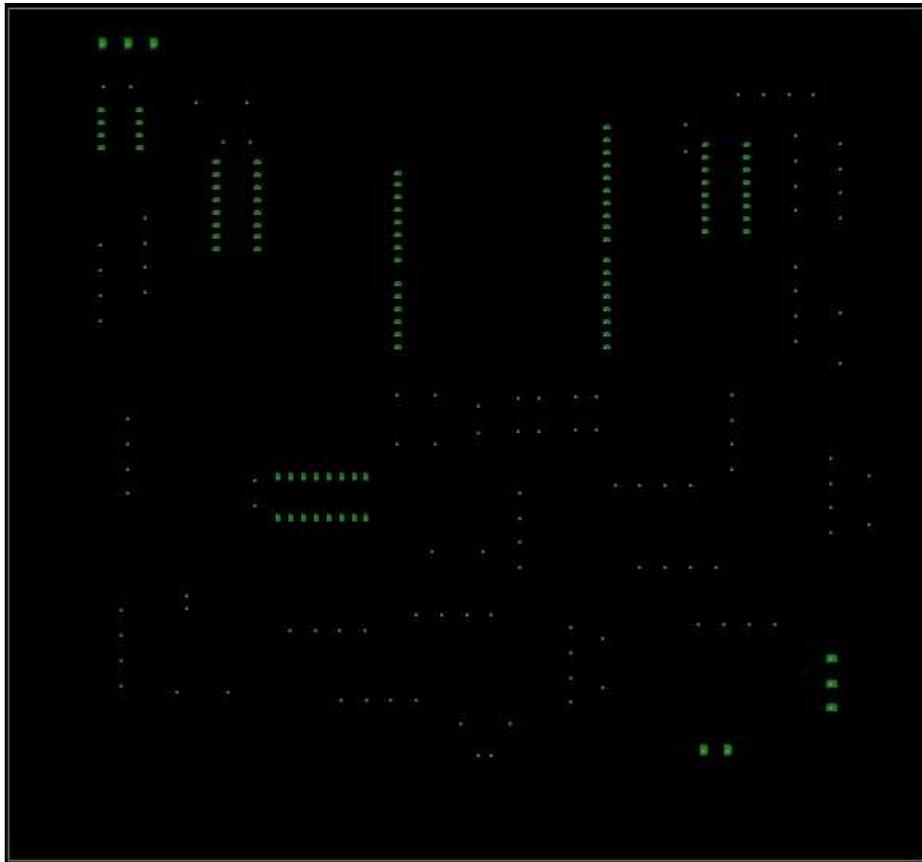


Figura 4.12. Capa TOP o cara de componentes.

Hay que tener en cuenta que la colocación de los componentes debe ser lo más coherente posible para facilitar el posterior trazado de pistas.

La capa BOTTOM es la capa conductora de cobre, donde se establecen las pistas conductoras entre los componentes. La capa de cobre tiene una medida de 184,2x

172,4mm, que actua como aislamiento GND para las señales o para disminuir el efector ruido. Al igual que con la colocación de componentes, para el diseño de las pistas se debe seguir una serie de reglas.

La distancia entre los bordes de la PCB, y las pistas más próximas a estos debe ser $>4\text{mm}$. El ancho de pista estará comprendido entre $0,4\text{mm} \leq \text{ancho} \leq 1\text{mm}$.

La separación entre dos pistas próximas debe ser $\geq 5\text{mm}$. Entre una pista y un pad de $0,254\text{ mm}$, lo que permitirá pasar pistas entre dos pines.

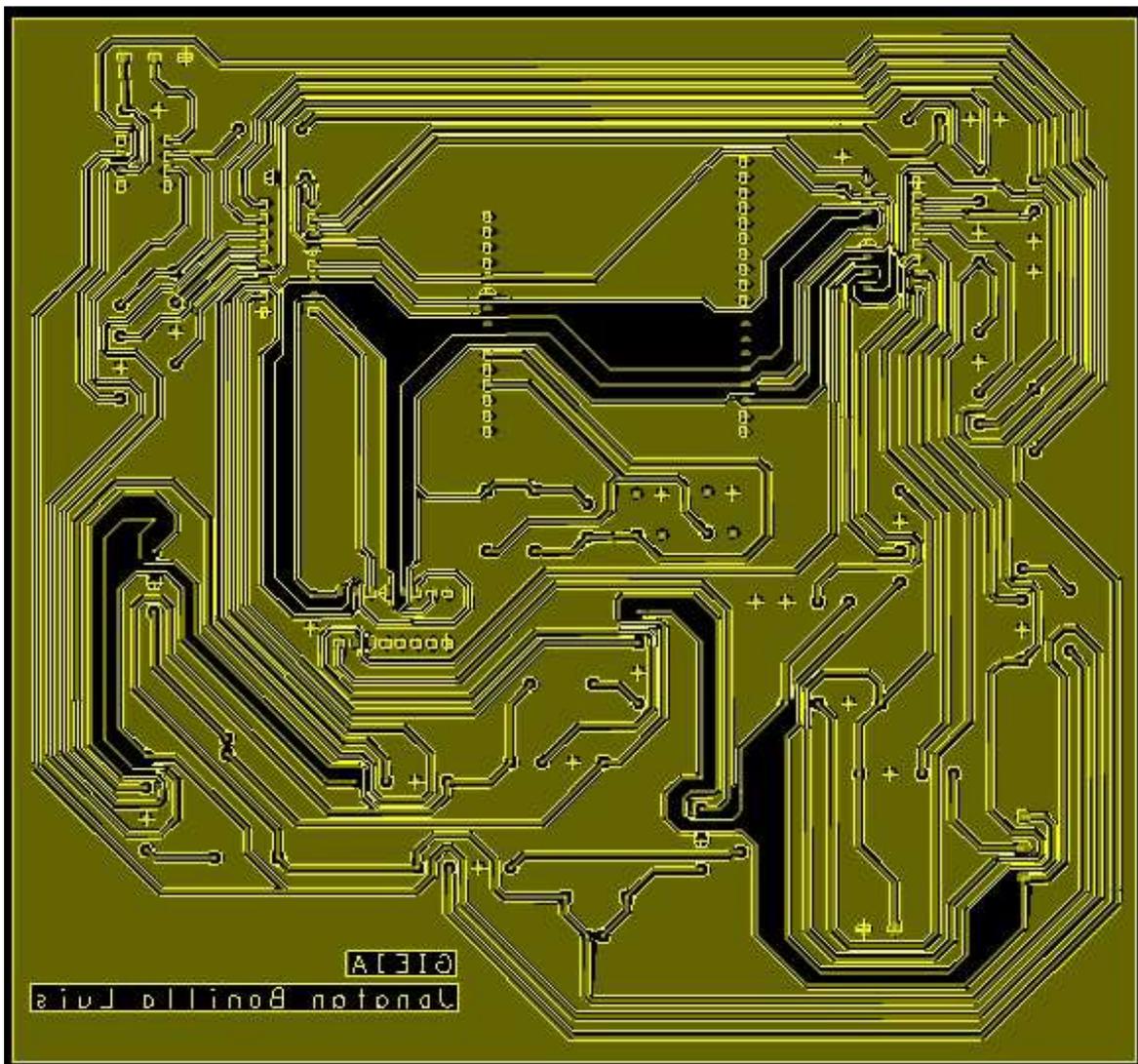


Figura 4.13. Capa BOTTOM con trazado de pistas.

El trazado de las pistas se hace cumpliendo estas reglas de diseño, siguiendo las conexiones establecidas en el esquemático gracias a la exportación de la Netlist.

Una vez generadas las capas necesarias, el paso final para la finalización de la PCB consiste en la etapa de post-proceso, donde se crean los ficheros, informes y documentos de salida (ver anexo VI), que proporcionan información extra para la fabricación de la PCB, como pueden ser la lista de conexiones o de componentes entre otros.

Entre estos documentos de fabricación, los denominados fotolitos, son los dibujos finales de la PCB para cada una de las capas que se requieren para su fabricación. Suelen presentarse en forma de ficheros Gerber que posteriormente se utilizan como máscaras fotográficas sobre la PCB con una insoladora la cuál copia la imagen (negativa o positiva según el proceso) al iluminar el fotolito que la contiene, sobre la superficie fotosensible (PCB).

La fabricación de la PCB se realiza una vez obtenido el fotolito, siguiendo una serie de procesos:

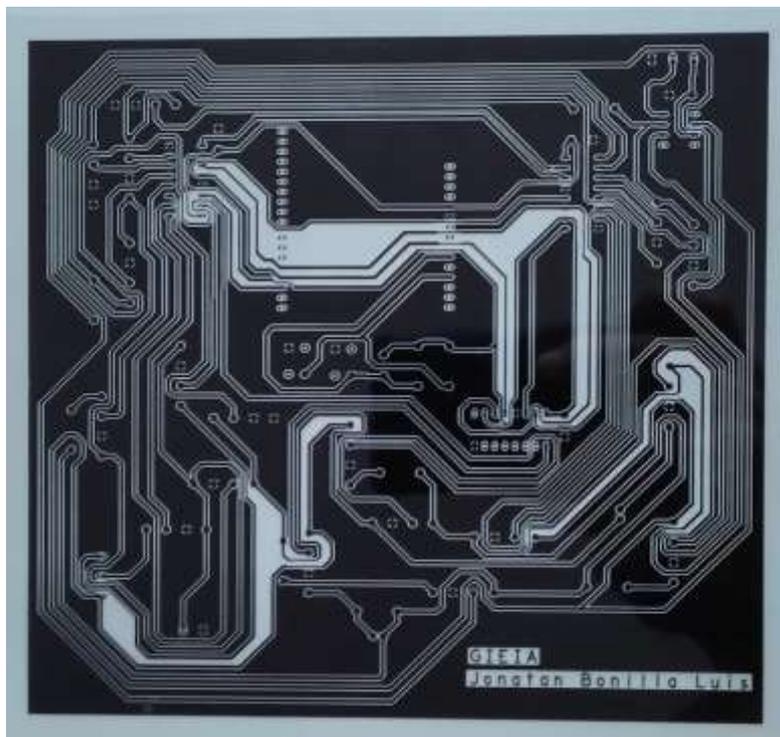


Figura 4.14. Fotolito de la capa BOTTOM.

Se coloca la PCB junto con el fotolito (figura 4.14) en una máquina insoladora, que genera una compresión de aire al vacío adhiriendo el fotolito a la placa y debilita las zonas donde se requiere eliminar el cobre, tras un proceso de 5 a 10 minutos.

Se somete a un proceso de revelado donde se elimina la película que previamente ha sido debilitada en el insolado, utilizando una composición química de agua y sosa cáustica ($\text{NaOH} + \text{H}_2\text{O}$).

A continuación, se procede al atacado de la PCB con una solución de ácido durante 15-20 minutos donde se elimina el cobre no protegido por la película fotosensible.

Se realiza un lavado de la PCB para eliminar los restos de ácido.

Y por último se realiza el taladrado se insertan los componentes y se realiza la soldadura en la PCB (figura 4.15), según la técnica de montaje (THD).

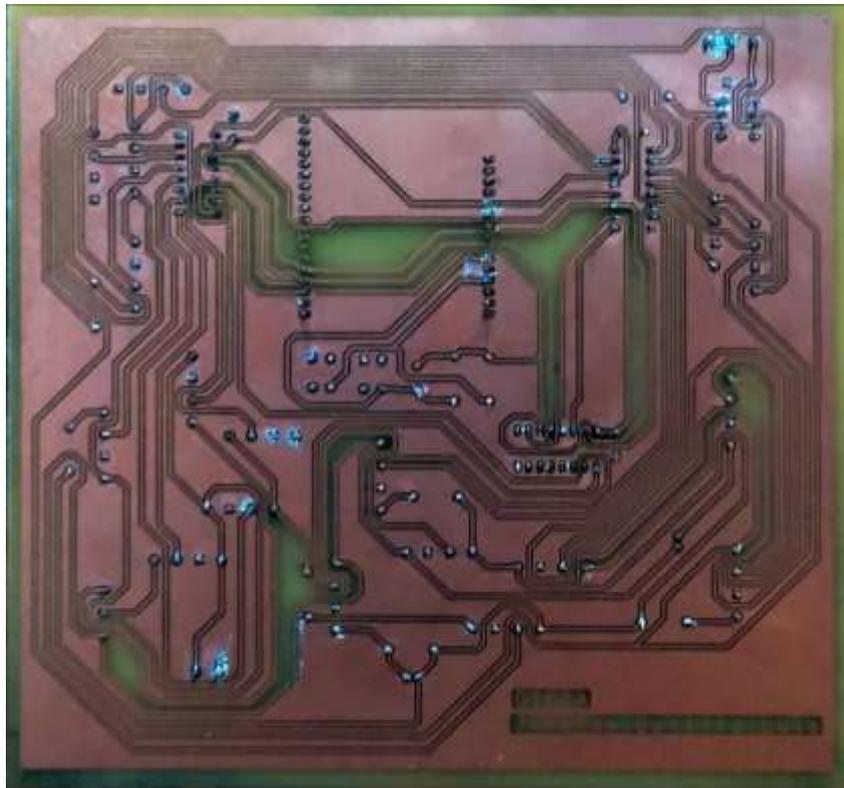


Figura 4.15. Capa BOTTOM tras la soldadura de la PCB.

En la figura 4.16 se muestra el resultado final de la PCB tras el proceso de fabricación, listo para su uso docente.

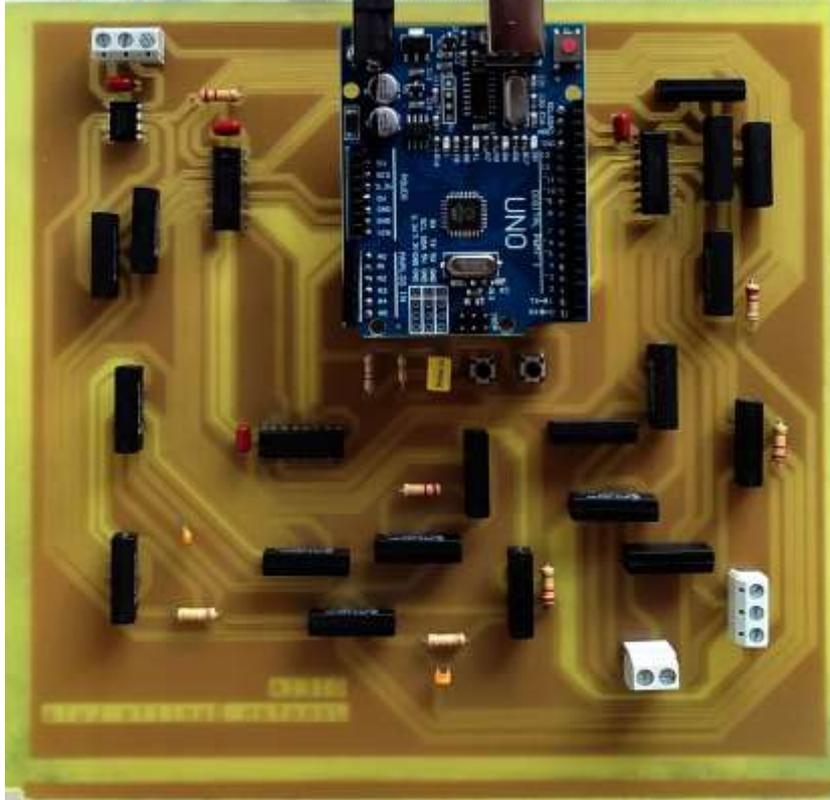


Figura 4.16. Capa TOP del resultado final de la PCB.

5. Resultados y conclusiones

5.1 Simulaciones, y comparativa con los resultados experimentales

Cálculos simulados

En esta sección, solo se muestran los resultados obtenidos de la simulación de cada configuración del operacional en el que se utiliza el programa *LTSpice* para obtener las gráficas, y se comparan con las experimentales obtenidas en el laboratorio con el circuito implementado en protoboard, cuyas gráficas se obtienen directamente desde el osciloscopio, así como con los cálculos teóricos desarrollados en el Anexo I para comprobar el correcto funcionamiento de la PCB.

Para tomar las medidas, se utilizan diferentes tipos de señales de diferentes valores de tensión que son interpretadas en las siguientes gráficas simuladas.

Para los cálculos teóricos, sólo se refleja el valor de salida V_o , cuyas ecuaciones se desarrollan en el “Anexo I. Cálculos teóricos”.

A modo de resumen:

A. Comparador	$+\infty / -\infty = V$ de saturación
A. Seguidor	1,40 V
A. Inversor	-7,92 V
A. No inversor	12,32 V
A. Restador	0 V
A. Sumador inversor	-8,935 V
A. Sumador no inversor	6,847 V
A. Integrador	-
A. Derivador	-

Tabla 2. Resumen resultados teóricos Anexo I.

Las gráficas que se muestran a continuación definen el valor (o valores) en voltios de las señales de entrada V_i , así como el valor de la señal de salida V_o del amplificador operacional (eje Y) respecto a la frecuencia de la señal (eje X), que se traduce en segundos.

Las señales de entrada V_i se muestran en color verde y amarillo para las simulaciones y las gráficas de laboratorio respectivamente, mientras que las señales de salida V_o estarán definidas por el rojo y morado para simulación, y mediciones de laboratorio.

Amplificador comparador ($V_i = 1,40 V$) (ec. 18)

Simulación

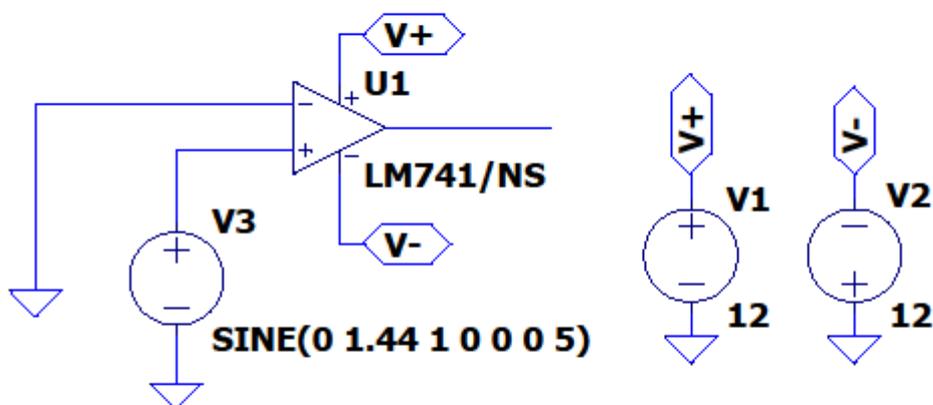


Figura 5.1. Esquema simulado AO comparador.

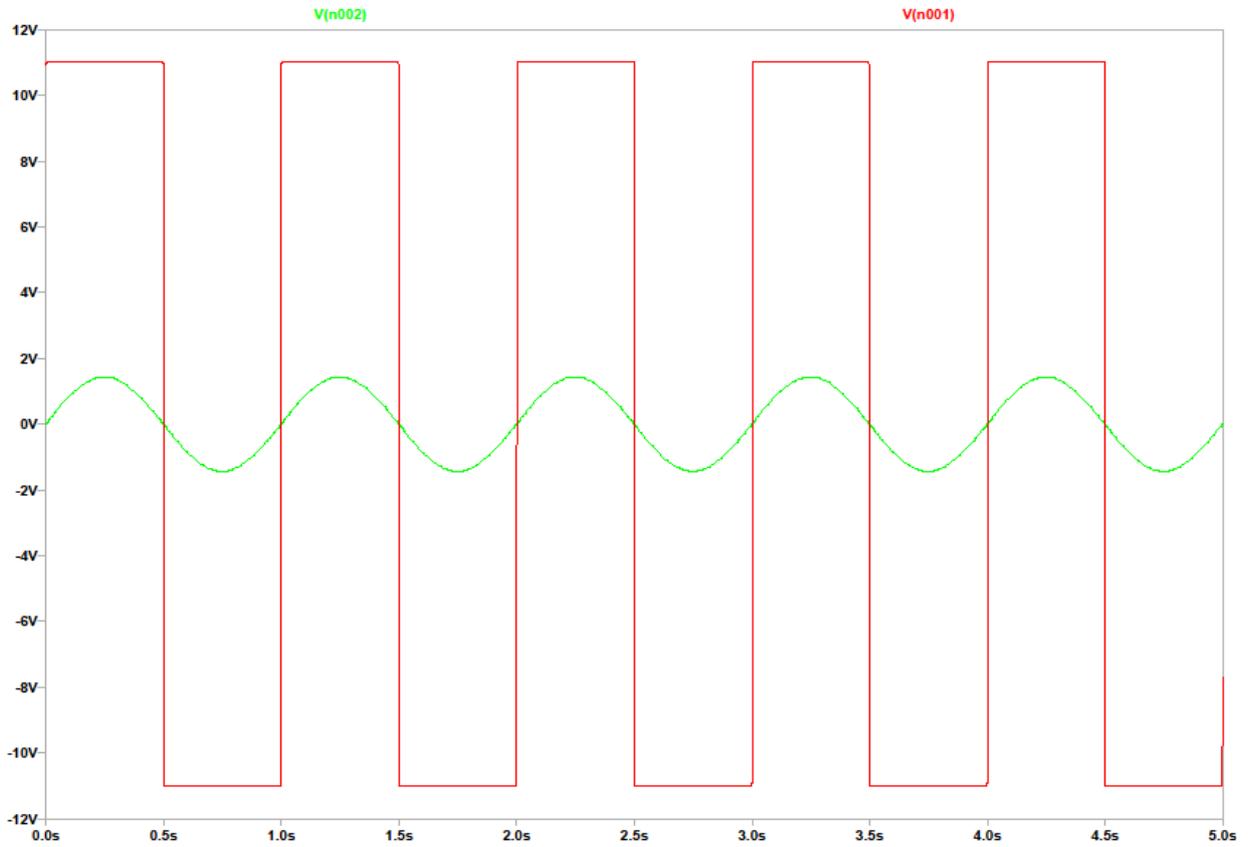


Figura 5.2. Gráfica simulación Amp. Comparador.

Laboratorio

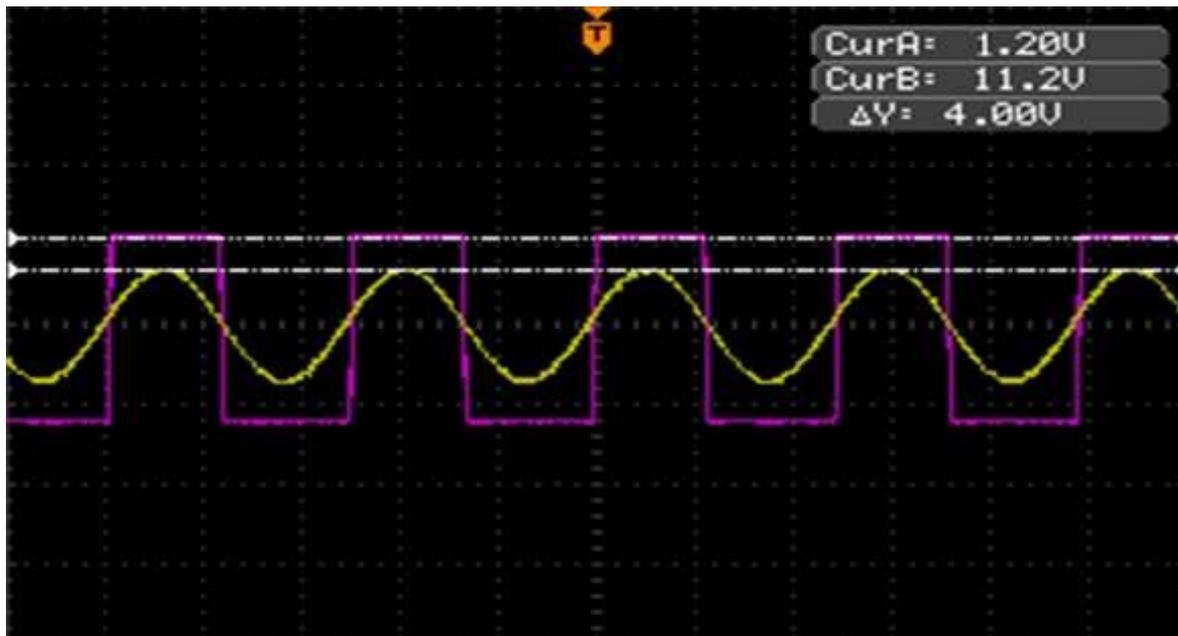


Figura 5.3. Gráfica Osciloscopio Amp. Comparador.

Como se puede observar en ambas gráficas, utilizando una señal de tipo seno, el comparador, para un valor de entrada V_i (1.40 V), genera una señal de salida V_o (11.2 V) que vendrá definido por el valor de saturación del AO, cuyo signo es proporcional al valor de entrada.

Amplificador seguidor de tensión ($V_i = 1,40\text{ V}$; $V_o = 1,40\text{ V}$) (ec. 19)

Simulación

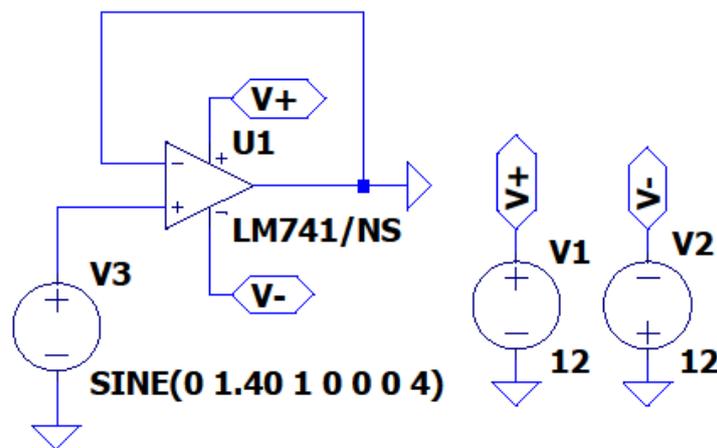


Figura 5.4. Esquema simulado AO seguidor.

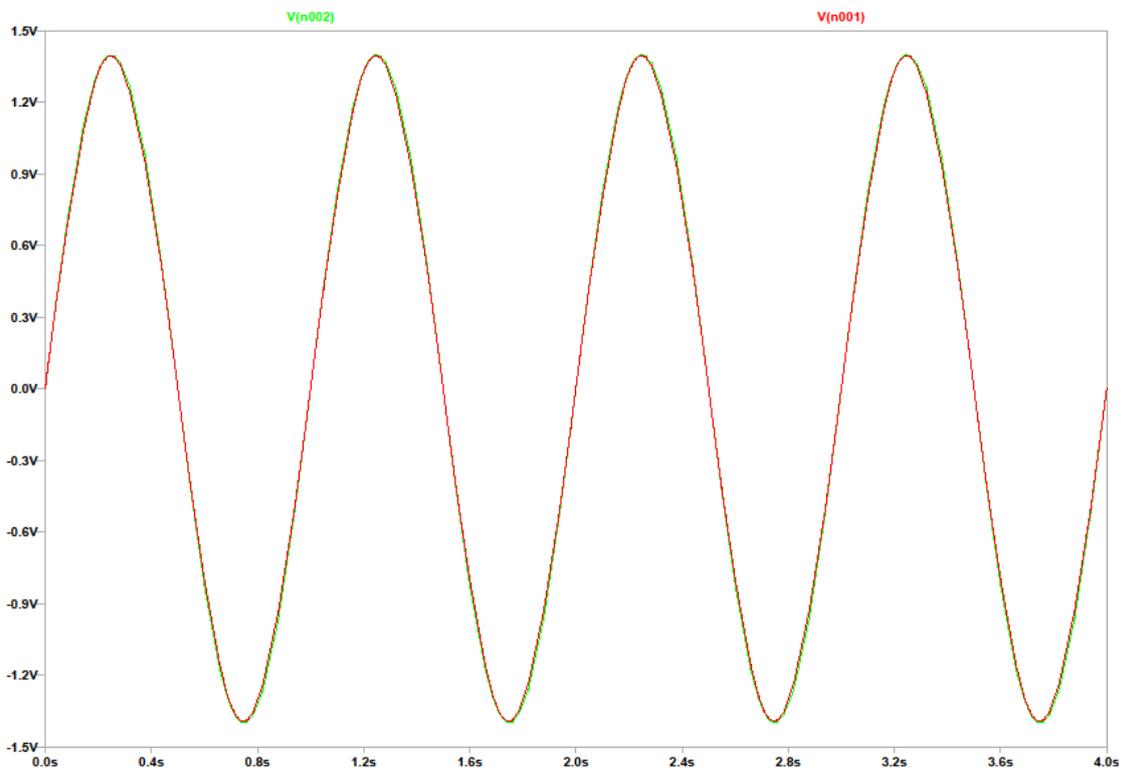


Figura 5.5. Gráfica simulación Amp. Seguidor de tensión.

El amplificador seguidor de tensión genera a la salida V_o el mismo valor de entrada V_i , por tanto, para una señal seno, de 1,40 V de amplitud, su salida V_o será la misma de señal de 1,40 V como se observan en las figuras 5.5 y 5.6.

Laboratorio

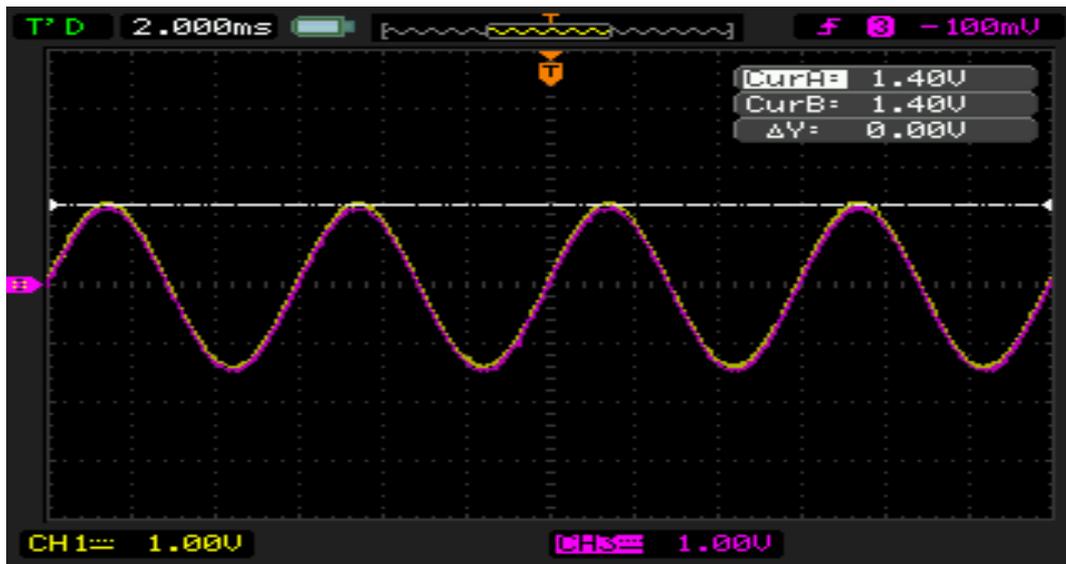


Figura 5.6. Gráfica osciloscopio Amp. Seguidor de tensión.

Amplificador inversor ($V_i = 4,40 V$; $V_o = -7,92 V$) (ec. 20)

Simulación

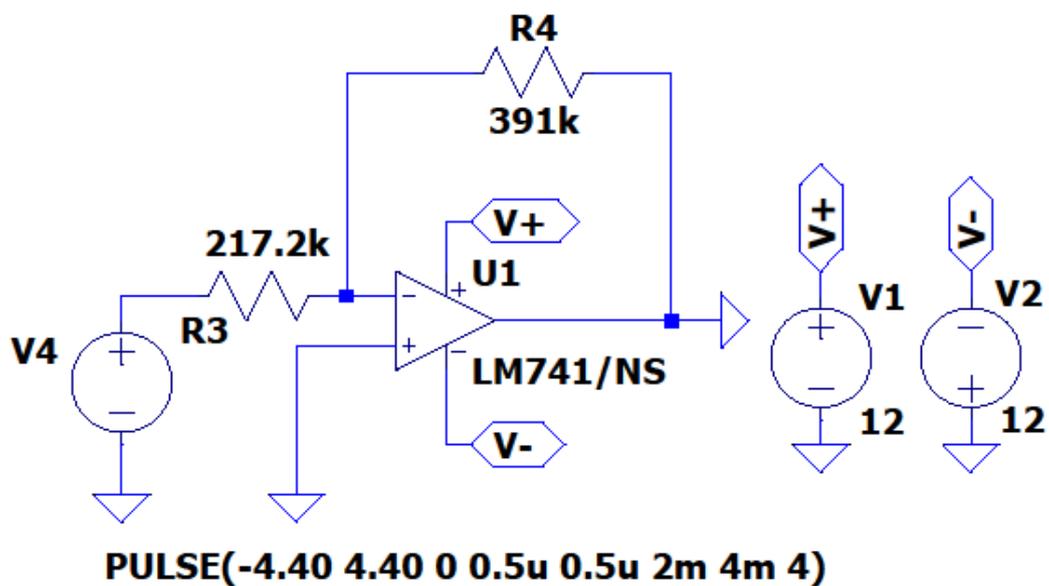


Figura 5.7. Esquema simulado AO inversor.

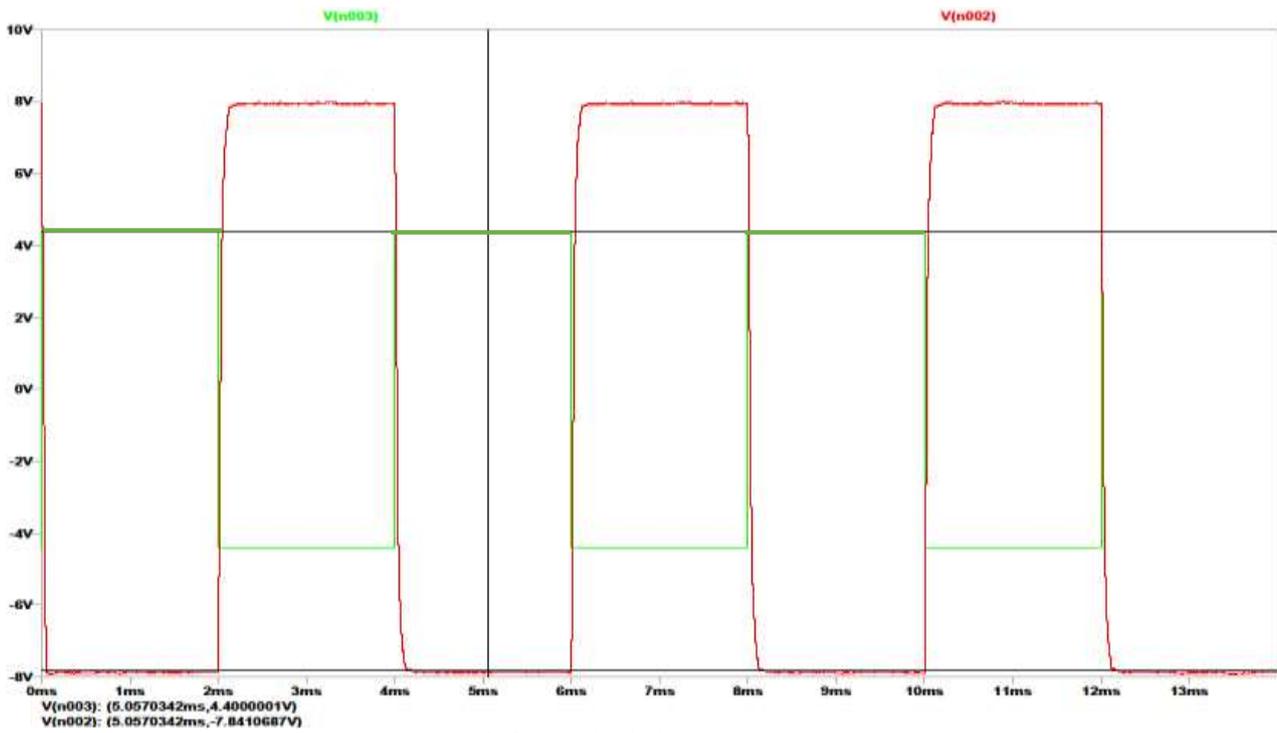


Figura 5.8. Gráfica simulación Amp. Inversor.

V(n003): (5.0570342ms, 4.4000001 V)

V(n002): (5.0570342ms, -7.8410687 V)

Laboratorio

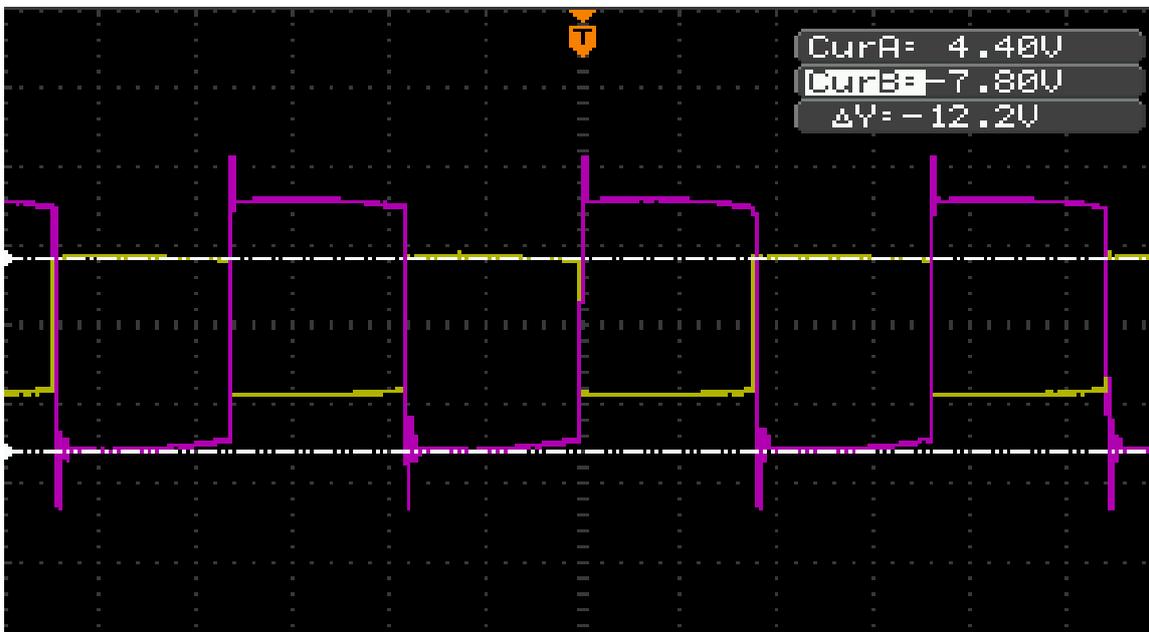


Figura 5.9. Gráfica osciloscopio Amp. Inversor.

Como puede observarse en las figuras 5.8 y 5.9, el AO en configuración inversora, dado que la ganancia de este amplificador (ec. 34) tiene un valor de $-1,80$, para una señal cuadrada de amplitud V_i ($4,40$ V), la salida V_o tiene un valor inversamente proporcional al valor de la entrada, multiplicado por esta ganancia ($-7,92$ V).

Amplificador no inversor ($V_i = 4,40$ V, $V_o = 12,32$ V) (ec. 21)

Simulación

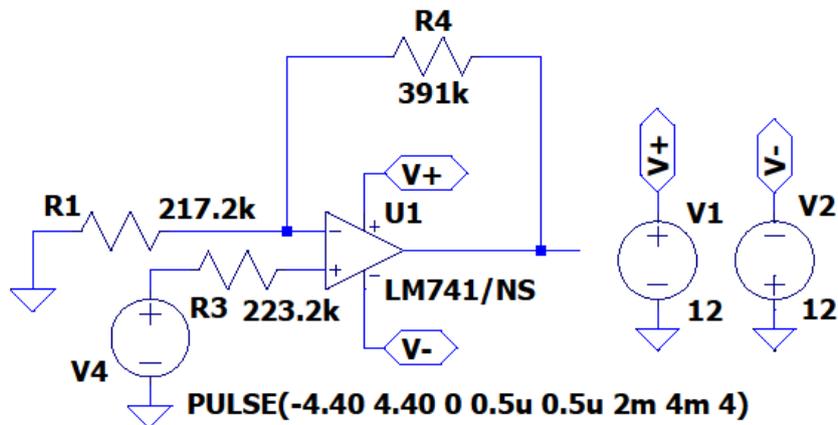


Figura 5.10. Esquema simulado AO no inversor.

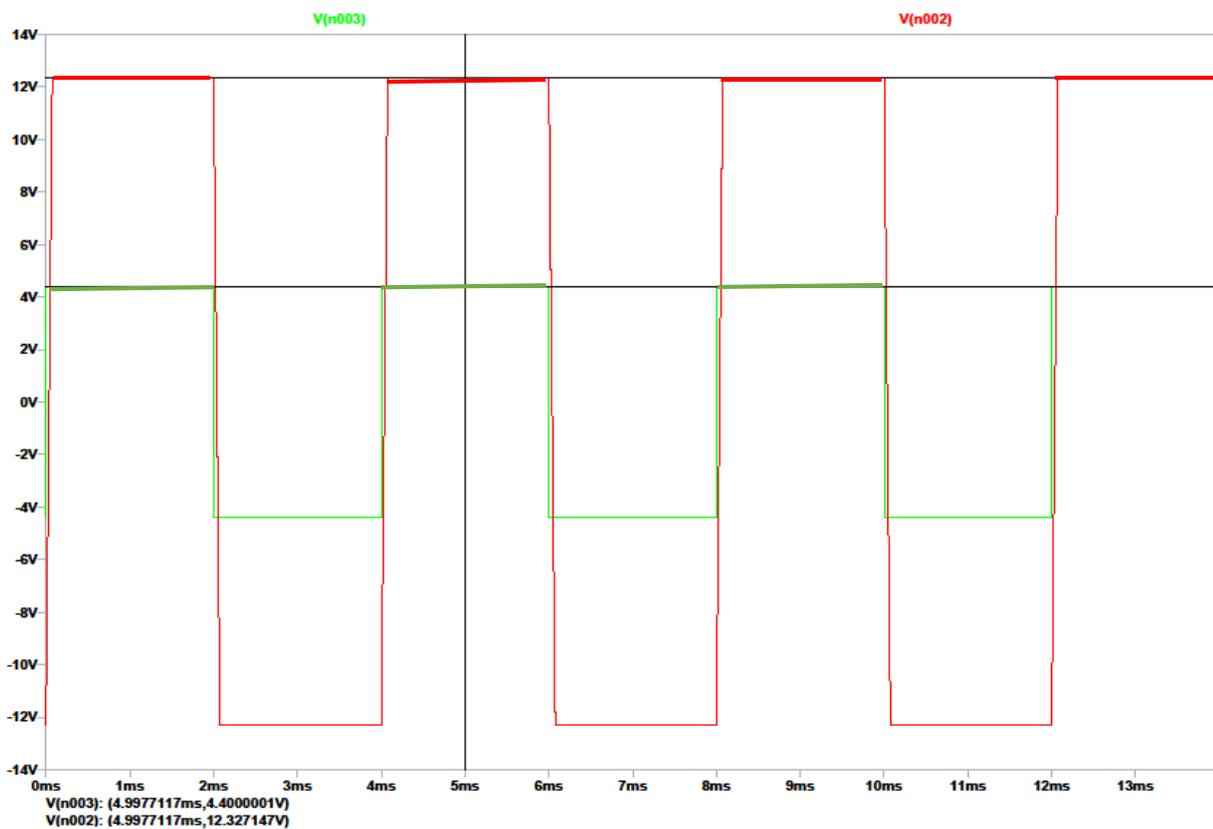


Figura 5.11. Gráfica simulación Amp. No inversor.

V(n003): (4.9977117ms, **4.4000001 V**)

V(n002): (4.9977117ms, **12.327147 V**)

Laboratorio

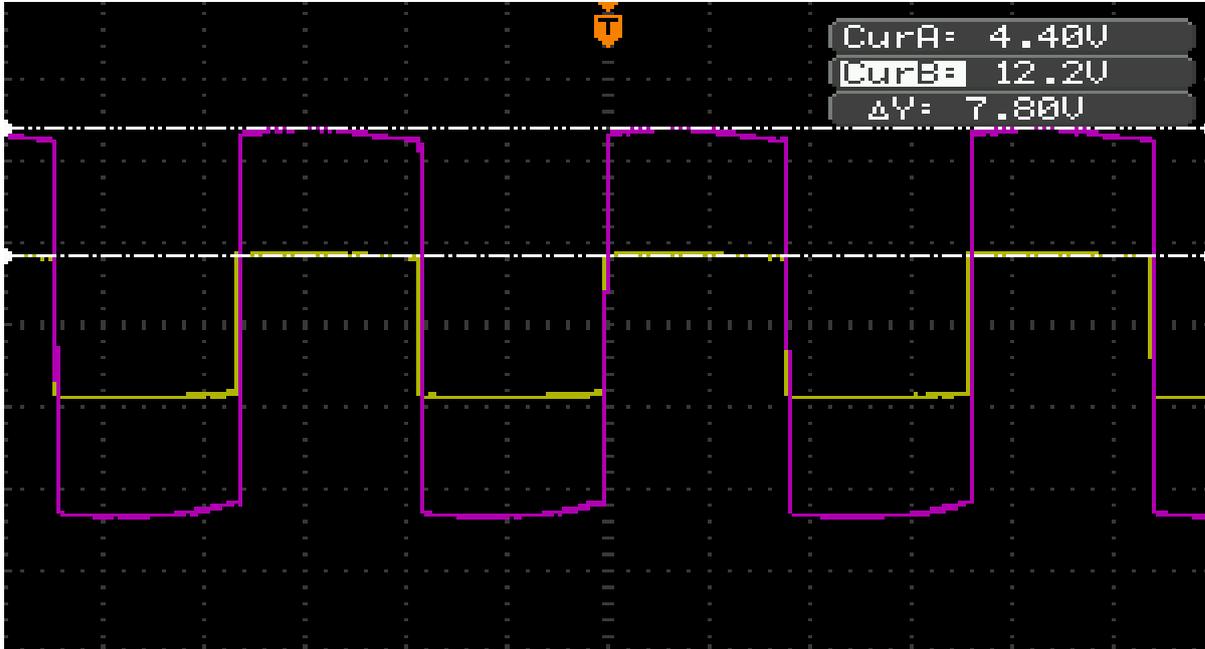


Figura 5.12. Gráfica osciloscopio Amp. No inversor.

En las figuras 5.11 y 5.12, se muestra el AO en configuración no inversora. Dado que la ganancia de este amplificador (ec. 42) tiene un valor de 2,80 V, para una señal cuadrada de amplitud V_i (4.40 V), la salida V_o tiene un valor proporcional al valor de la entrada, multiplicado por esta ganancia (12,32 V), lo cual supera el voltaje de saturación por lo que tendríamos como máximo +12 y -12 V a la salida del operacional.

Amplificador Restador ($V_i = 4,40\text{ V}$, $V_o = 0\text{ V}$) (ec. 22)

Simulación

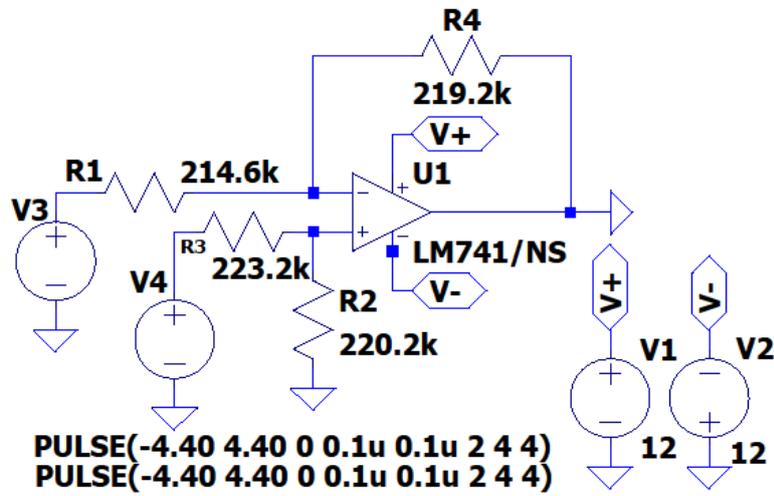


Figura 5.13. Esquema simulado AO restador.

Como las dos señales de entrada V_i , son exactamente iguales, las gráficas de las figuras 5.14 y 5.15 muestran ambas señales superpuestas. Por tanto, para dos señales cuadradas de amplitud V_i (4,40 V), la salida del AO restador V_o tiene como resultado la resta de ambas señales, cuyo valor se considera despreciable (-65,60 mV), si tomamos el valor en voltios.

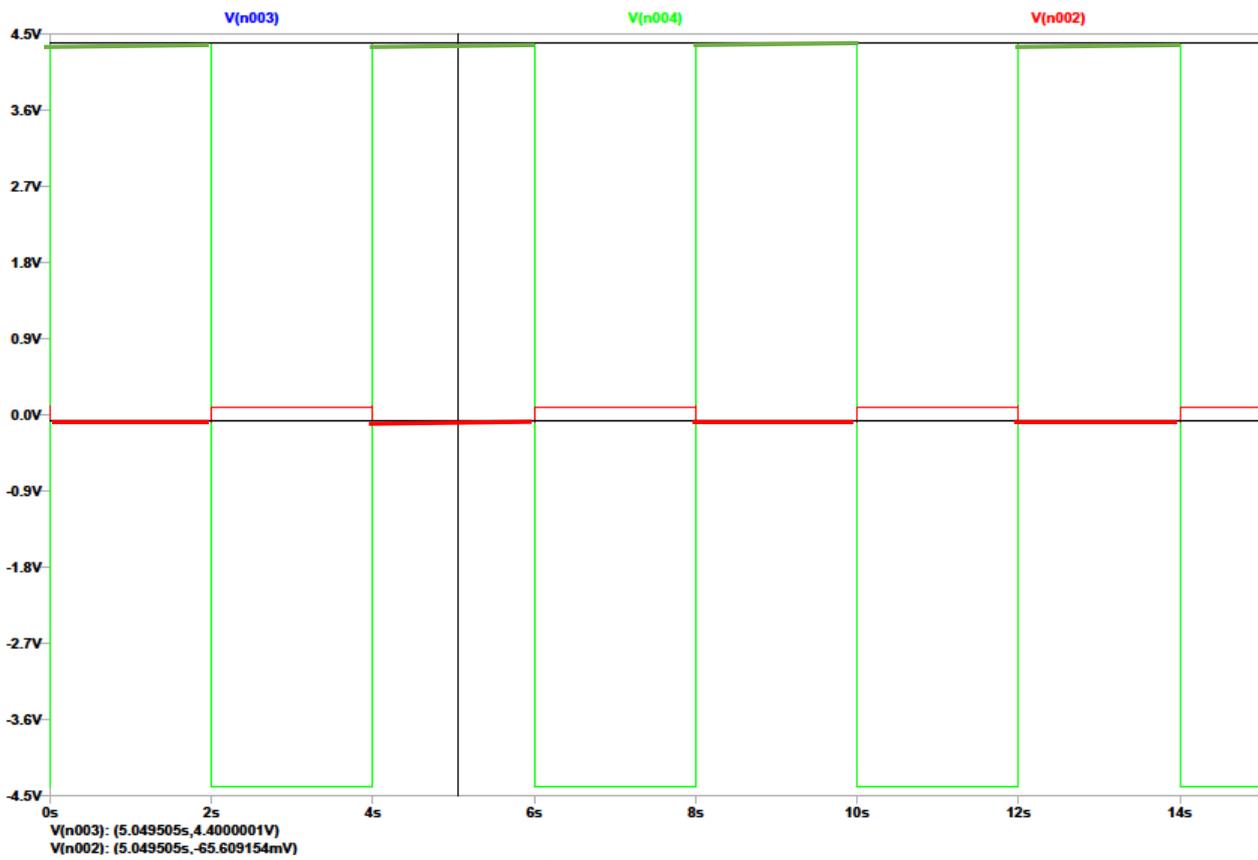


Figura 5.14. Gráfica simulación Amp. Restador.

V(n003,n004): (5.049505 s, **4.4000001 V**)

V(n002): (5.049505 s, **-65.609154 mV**)

Laboratorio

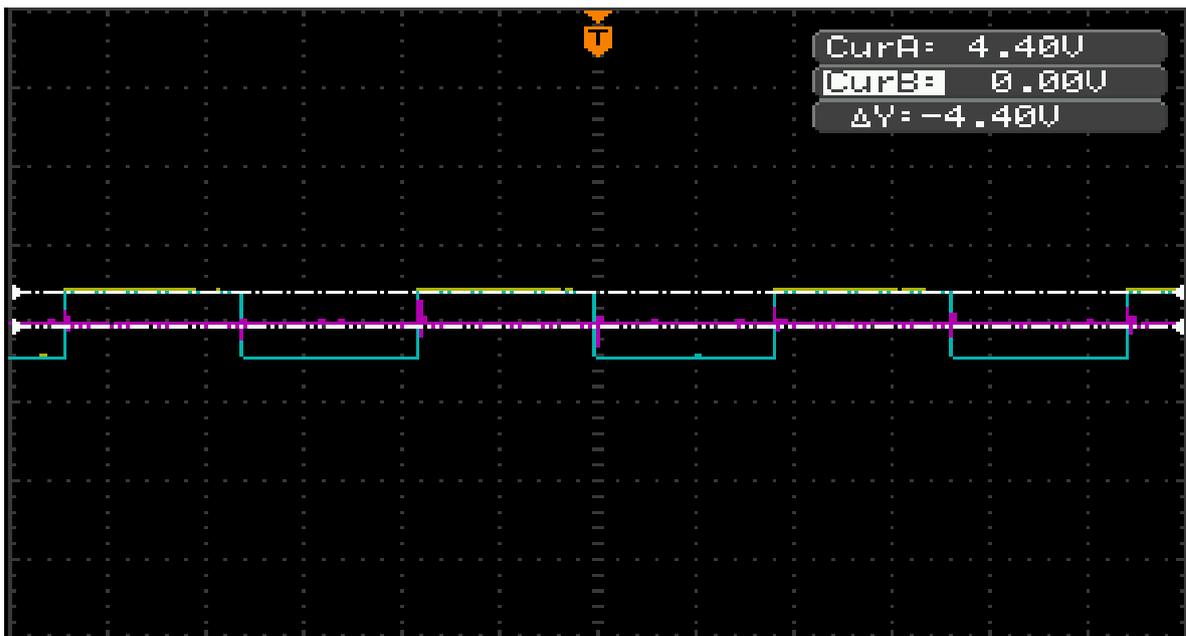


Figura 5.15. Gráfica osciloscopio Amp. Restador.

Amplificador sumador inversor ($V_i = 4,40\text{ V}$, $V_o = -8,935\text{ V}$) (ec. 23)

Simulación

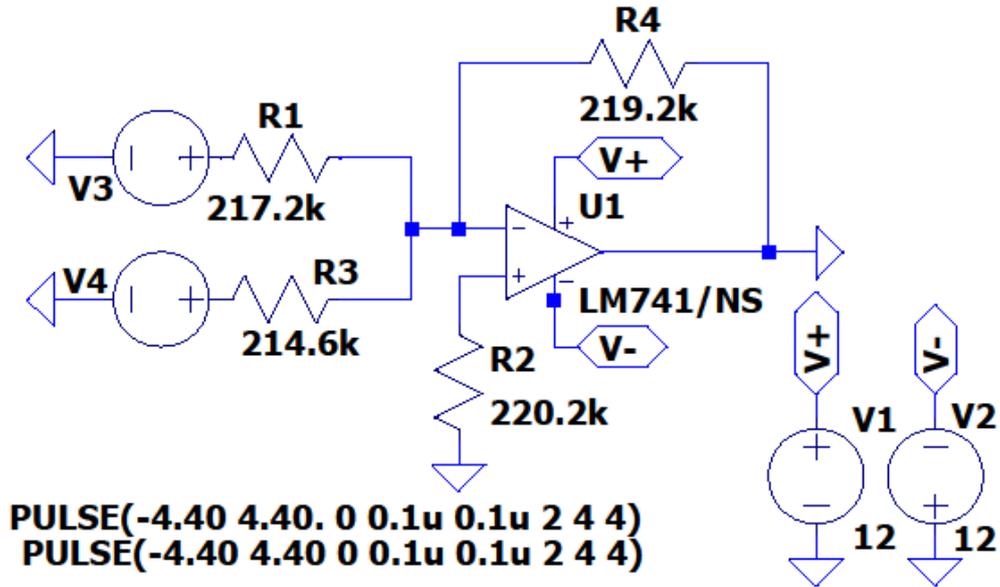


Figura 5.16. Esquema simulado AO sumador inversor.

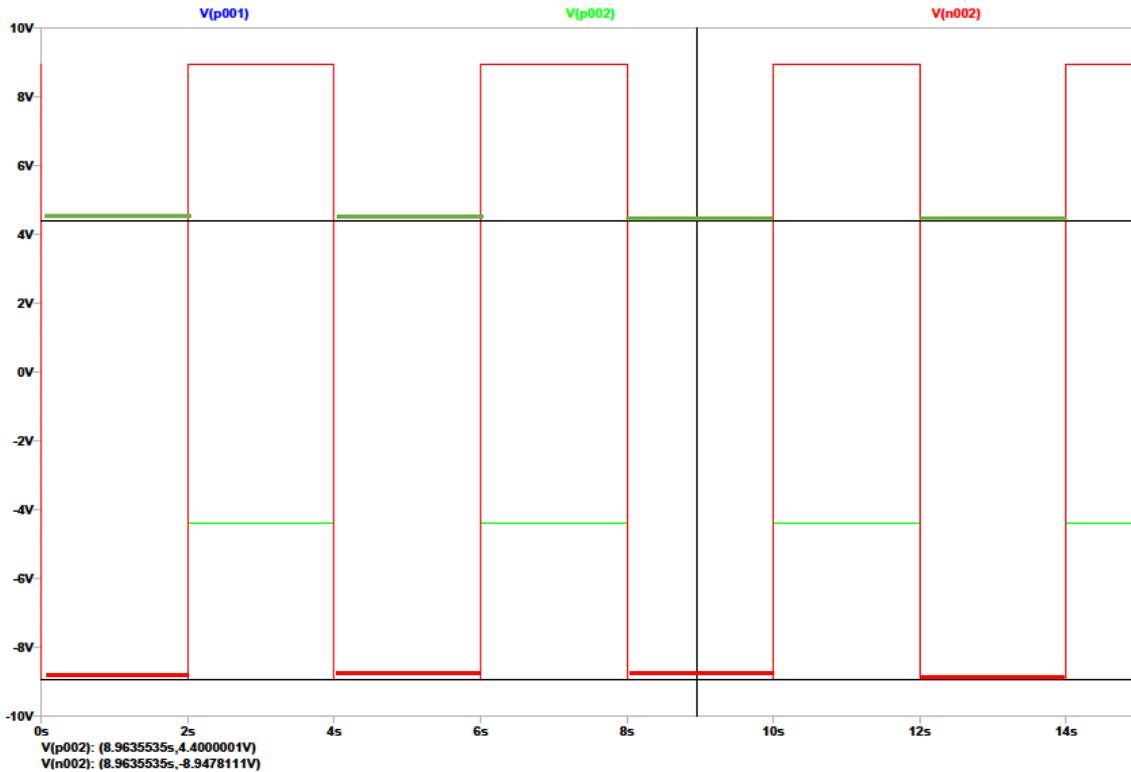


Figura 5.17. Gráfica simulación Amp. Sumador inversor.

V(p001,p002): (8.9635535 s, 4.4000001 V)

V(n002): (8.9635535 s, -8.9478111 V)

Laboratorio

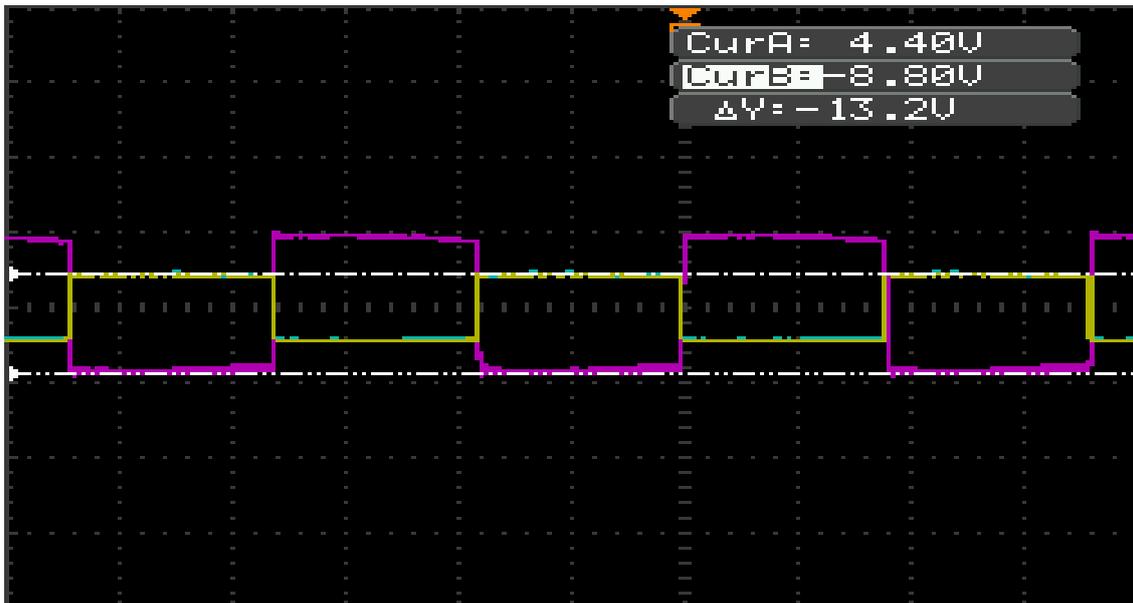


Figura 5.18. Gráfica osciloscopio Amp. Sumador inversor.

De igual modo que el AO restador, para dos señales cuadradas de amplitud V_i (4,40 V), la salida del AO sumador inversor V_o tiene como resultado la inversa de la suma de ambas señales (-8,935 V) como se muestran en las figuras 5.18 y 5.19.

Amplificador sumador no inversor ($V_i = 3,40\text{ V}$, $V_o = 6,847\text{ V}$) (ec. 24)

Simulación

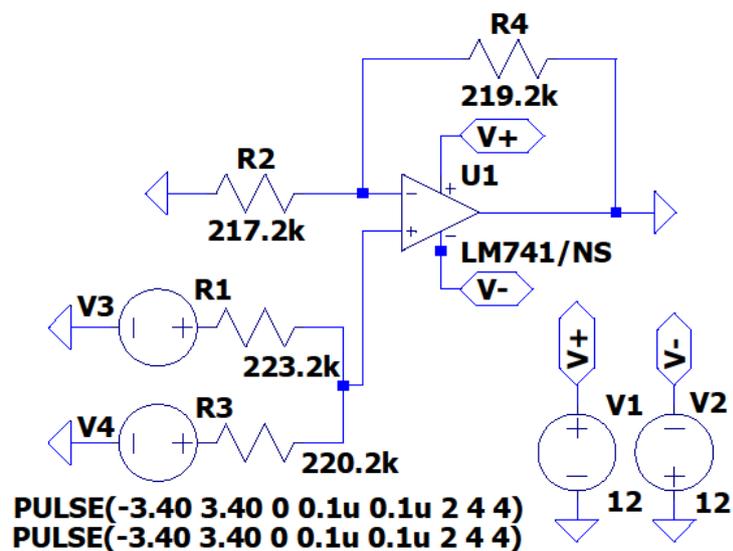


Figura 5.19. Esquema simulado AO sumador no inversor.

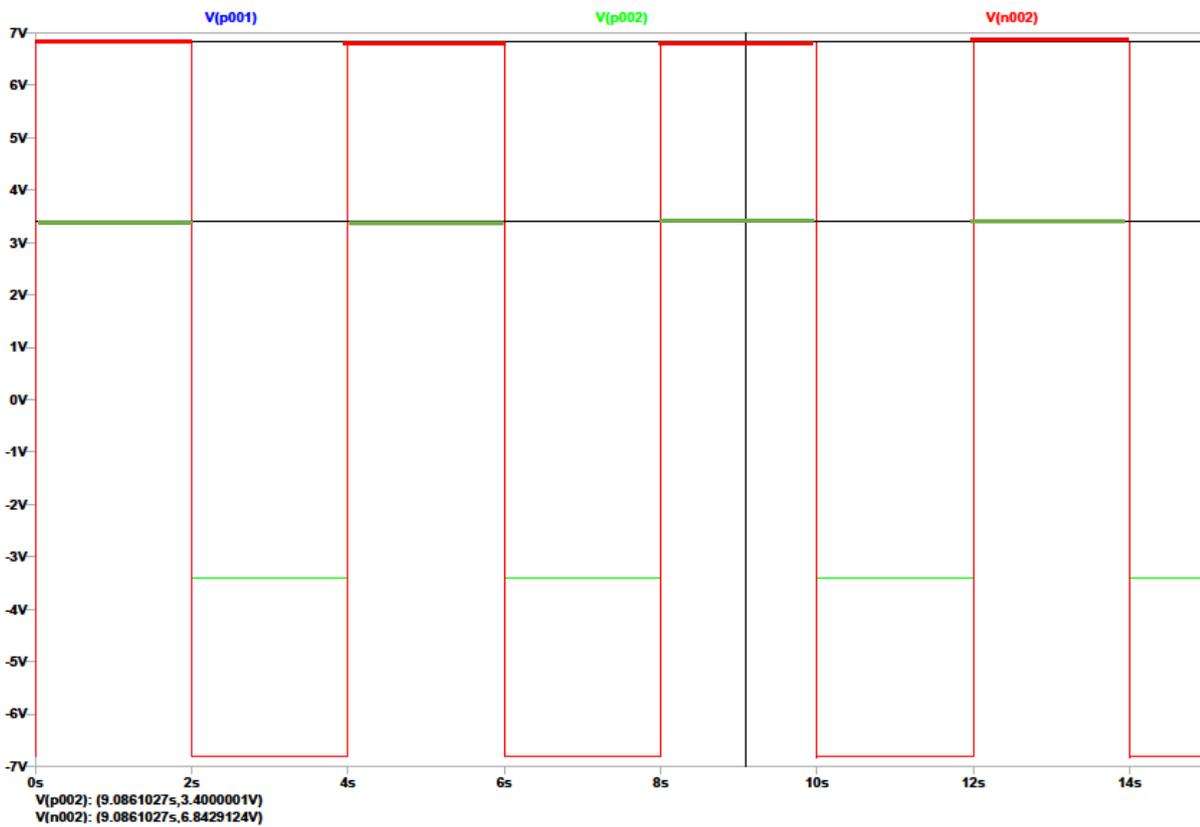


Figura 5.20. Gráfica simulación Amp. Sumador no inversor.

V(p001,p002): (3.2861027 s, 3.4000001 V)

V(n002): (3.2861027 s, 6.8429124 V)

Laboratorio

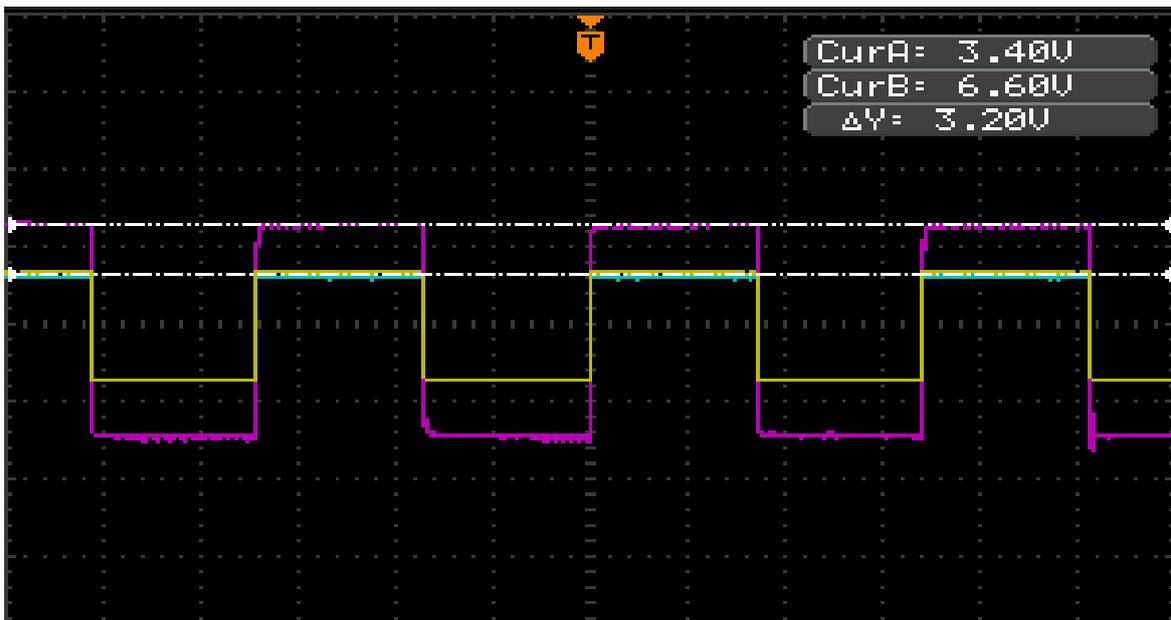


Figura 5.21. Gráfica osciloscopio Amp. Sumador no inversor.

Para dos señales cuadradas de amplitud V_i (3,40 V), la salida del AO sumador no inversor V_o tiene como resultado la suma de ambas señales (6,84 V) como se muestran en las figuras 5.20 y 5.21.

Amplificador integrador inversor ($V_o = -\frac{1}{RC} \int_0^t V_i(t) dt$) (ec. 25)

Simulación

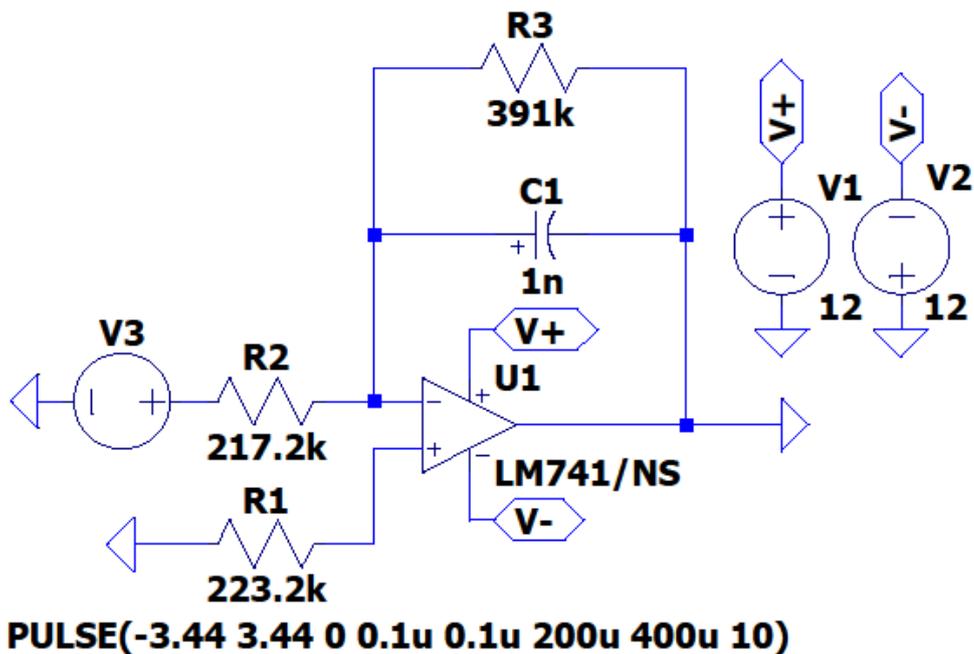


Figura 5.22. Esquema simulado AO integrador.

Sabiendo que la integral de una constante es una función lineal, en los tramos de la señal cuadrada de entrada donde $V_i = \text{constante}$, la tensión de salida V_o es ascendente o descendente e inversa, en función del tiempo, expresados por los límites de integración. Por tanto, como se muestra en las figuras 5.23 y 5.24, cuando la señal de entrada es positiva, la salida es descendente (realimentación negativa), y por lo contrario, cuando V_i toma valores negativos, la salida V_o presenta una forma ascendente.

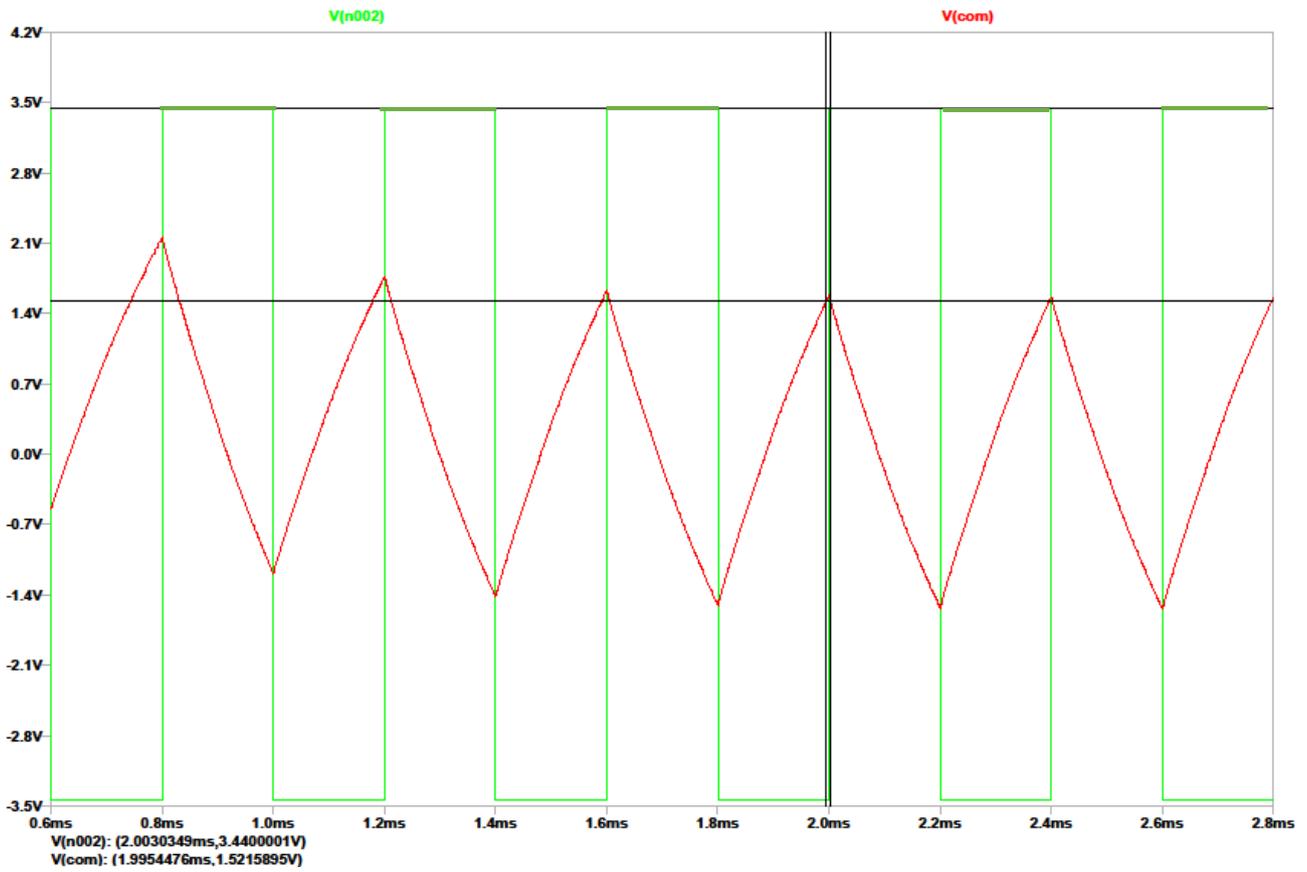


Figura 5.23. Gráfica simulación Amp. Integrador.

V(n002): (2.0030349 ms, 3.4400001 V)

V(com): (1.9954476 ms, 1.5215895 V)

Laboratorio

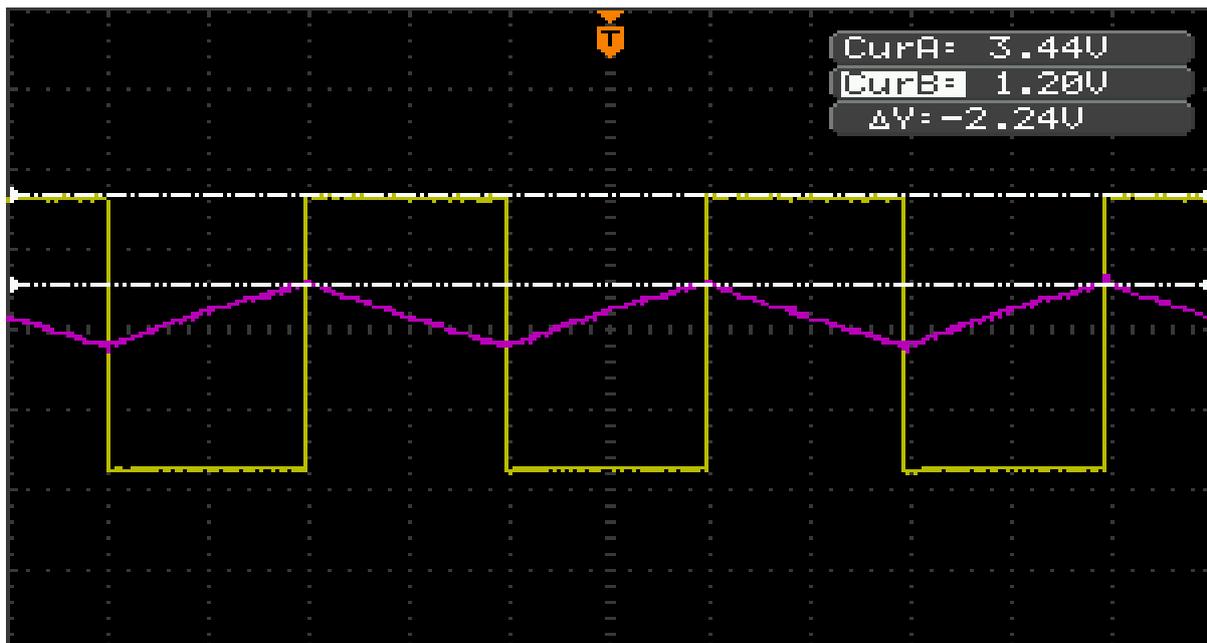


Figura 5.24. Gráfica osciloscopio Amp. Integrador.

Amplificador diferenciador inversor (Derivador) $V_o = -RC \frac{dV_1}{dt}$ (ec. 26)

Simulación

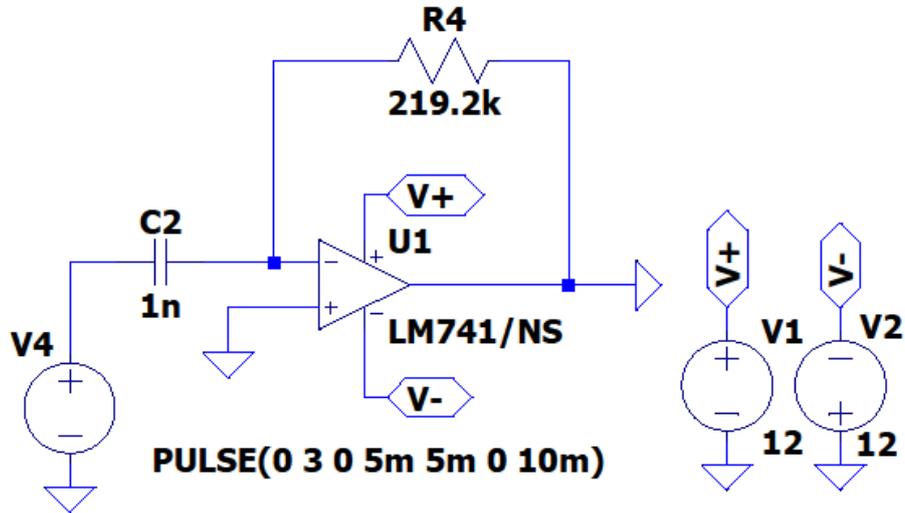


Figura 5.25. Esquema simulado AO derivador.

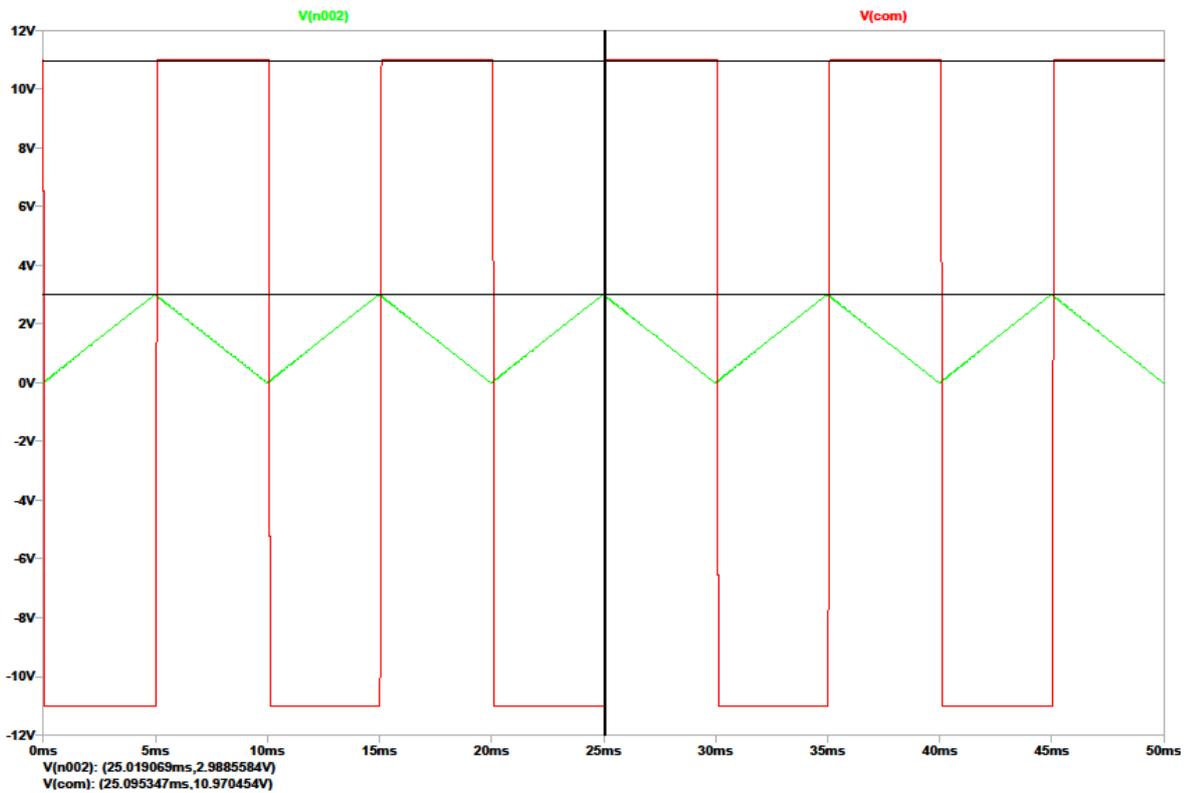


Figura 5.26. Gráfica simulación Amp. Derivador.

V(n002): (25.019069 ms, 2.9885584 V)

V(com): (25.095347 ms, 10.970454 V)

Laboratorio

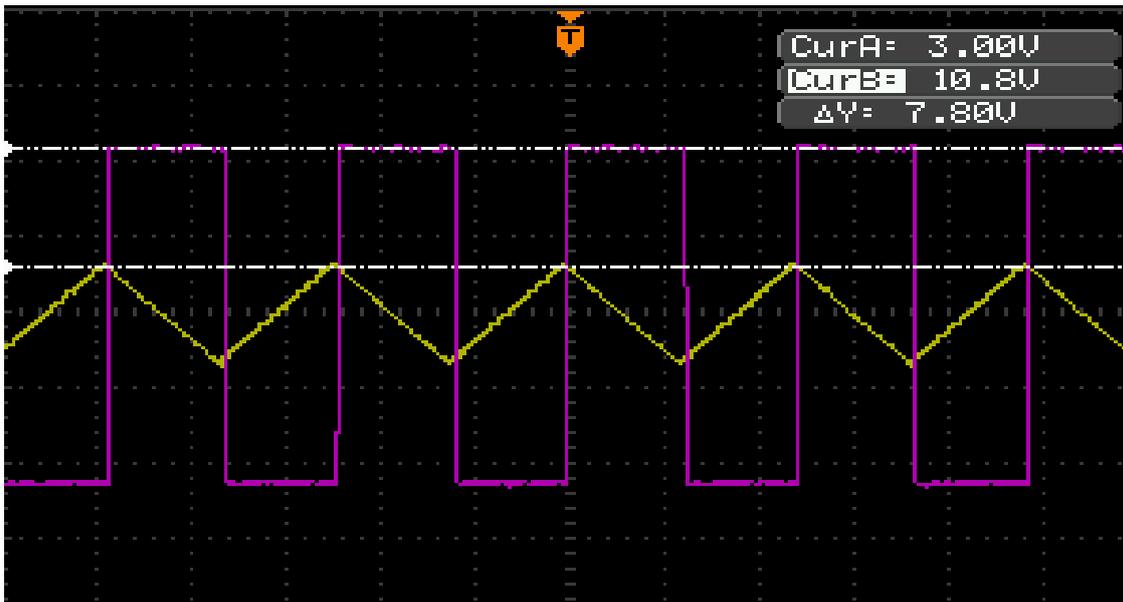


Figura 5.27. Gráfica osciloscopio Amp. Derivador.

A diferencia del integrador, la señal de salida que obtenemos de esta configuración es la derivada respecto al tiempo de la señal de entrada, por lo que la salida es proporcional a la velocidad de variación de la señal de entrada.

Sabiendo que la derivada de una pendiente, obtiene un valor constante, partiendo de una señal triangular V_i , el valor de la tensión de salida $V_o = \text{constante}$. Por tanto, como se muestra en las figuras 5.26 y 5.27, cuando la señal de entrada tiene la forma de pendiente ascendente, la salida presenta un valor constante negativo (realimentación del operacional negativa) y, por lo contrario, cuando V_i toma un valor descendente, la salida V_o es constante y positiva.

Podemos observar que los cálculos obtenidos en el laboratorio con el circuito implementado en protoboard se aproximan con gran exactitud a los obtenidos en las simulaciones y en los cálculos teóricos. Se demuestra de esta manera que el circuito reconfigurable está perfectamente definido para desarrollar los objetivos propuestos en este trabajo.

A modo de resumen tenemos los siguientes resultados:

	Vo Teórico (V)	Vo Simulado (V)	Vo Experimental (V)
A. Comparador	$+\infty / -\infty$	+11,2 / -11,2 (Vsat)	+11,25 / -11,25 (Vsat)
A. Seguidor	1,40	1,40	1,40
A. Inversor	-7,92	-7,855	-7,80
A. No inversor	12,32	12,327	12,20
A. Restador	0	-0,065	0
A. Sumador inversor	-8,935	-8,947	-8,80
A. Sumador no inversor	6,847	6,842	6,60
A. Integrador		1,31	1,20
A. Derivador		11,01	10,8

Tabla 3. Resumen y comparación de cálculos.

5.2 Conclusiones

En consecuencia, a todo lo expuesto en este documento, se concluye:

El diseño e implementación de un circuito electrónico reconfigurable, orientado al estudio experimental de algunos de los circuitos electrónicos básicos basados en el amplificador operacional $\mu A741$.

Con este trabajo, el usuario tiene acceso al estudio de circuitos electrónicos básicos, usando únicamente un módulo implementado en PCB.

Aun así, existen algunos aspectos a considerar con la finalidad de mejorar la PCB para una mayor autonomía de la misma:

- La incorporación de una fuente de alimentación que proporcione las tensiones $V+$ y $V-$ necesarias para la alimentación del amplificador operacional sin tener que hacer uso de una fuente externa.
- Utilizar una PCB multicapa, con una tecnología de montaje mixta donde se utilicen componentes SMD y THD, consiguiendo así reducir el número y el largo de las pistas, utilizando agujeros pasantes o vías para el conexionado de las mismas, así como las dimensiones de la PCB.

- La utilización de resistencias variables que nos permita tener un mayor rango de mediciones y no verse limitados por las resistencias fijas, lo que se evita tener que desmontar y sustituir componentes para obtener un rango distinto de valores.
- La implementación de una pantalla LCD, definida en el código de Arduino, que muestre en pantalla la configuración de amplificador para mejorar la interfaz con la PCB.

Conclusions

Consequently, in this document, it's concluded:

The design and implementation of a reconfigurable electronic circuit, oriented to the experimental study of some basic electronic circuits based on the $\mu A741$ operational amplifier.

With this work, the user has access to the study of basic electronic circuits, using only a module implemented in PCB.

Even so, there are some aspects to consider in order to improve the PCB for greater autonomy:

- The incorporation of a power supply that provides the voltages $V+$ and $V-$ necessary to power the operational amplifier without having to use an external source.
- Use a multilayer PCB, with a mixed assembly technology where SMD and THD components are used, to reduce the number and length of the tracks, using through holes or ways to connect them, as well as the dimensions of the board.
- The use of variable resistors that allows to have a greater range of measurements and not be limited by fixed resistors, which would avoid having to disassemble and replace the components to obtain a different range of values.
- The implementation of an LCD screen, defined in the Arduino code, that shows the amplifier configuration on the screen to improve the interface with the PCB.

6. Bibliografía

- [1] González De La Rosa, Juan José, and Antonio Moreno Muñoz. *Circuitos Electrónicos Aplicados Con Amplificadores Operacionales*. Cádiz: Servicio De Publicaciones De La Universidad De Cádiz, 2009. Web.
- [2] López Dorado, Almudena, and Martínez Arribas, Alejandro. *Circuitos Electrónicos Básicos*. Servicio De Publicaciones. Universidad De Alcalá, 2011. Web.
- [3] Ricardo Costa, Paulo Portela, Gustavo Alves, Manuel Carlos Felgueiras and Clara Viegas. A reconfigurable and expandable kit to teach electronic circuits based on Operational Amplifiers. Polytechnic of Porto ISEP/CIETI/LABORIS, 2018.
- [4] Arduino, [En línea]: <https://www.arduino.cc/>, agosto de 2021.
- [5] Beatriz Rodríguez Mendoza, *Diseño y Tecnología de Circuitos Impresos, Universidad de la Laguna, 2021*.
- [6] Orcad Capture, [En línea]: <https://www.orcad.com/products/orcad-capture/overview>, agosto de 2021.
- [7] Orcad PCB Design, [En línea]: <https://www.orcad.com/products/orcad-pcb-designer/overview>
- [8] LCSC Electronics, [En línea]: https://lcsc.com/product-detail/Reed-Relays_PAN-CHANG-SIP-1A05_C10496.html, agosto de 2021.
- [9] Nalber, [En línea]: <https://www.tvnalber.com/>, agosto de 2021.
- [10] ES Components, [En línea]: <https://es.rs-online.com/web/>, agosto de 2021.

7. Anexos

7.1 Anexo I. Cálculos teóricos

En este capítulo se detallan los resultados de los cálculos teóricos donde se han tomado los valores experimentales tomados en el laboratorio.

De este modo, para los valores teóricos de 220 kΩ y 390 kΩ de las resistencias se han tomado los siguientes valores experimentales:

	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7
V. Ideal (kΩ)	220	220	220	220	220	390	390
V. Real (kΩ)	217,2	214,6	223,2	220,2	219,2	391	390

Tabla 7.4. Valores resistencias.

Los cálculos se realizan desarrollando las ecuaciones de cada configuración, que se toman de los esquemas electrónicos vistos en el capítulo 2.2 de este trabajo.

Para los valores teóricos de amplitud de entrada de V_i se toman los valores experimentales obtenidos en el laboratorio con un generador de señales.

7.1.1 Amplificador comparador

$$si V_i > 0 \rightarrow V_o = \infty \quad (ec. 26)$$

$$si V_i < 0 \rightarrow V_o = -\infty \quad (ec. 27)$$

Para un voltaje de entrada V_i , la salida V_o toma el valor de saturación del AO cuyo signo viene definido por el valor de entrada.

7.1.2 Amplificador seguidor de tensión

$$V_o = V_i \quad (ec. 28)$$

$$V_i = 1,40 V = V_o \quad (ec. 29)$$

Para un voltaje $V_i = 1,40 V$, la salida V_o toma el valor de entrada, por tanto, $V_o = 1,40 V$.

7.1.3 Amplificador inversor

Al aplicar la Ley de Corrientes de Kirchhoff (LCK) en el nodo inversor, se obtiene la siguiente expresión:

$$I_1 = I_2 \quad (ec. 30)$$

$$\frac{V_i - V_x}{R_1} = \frac{V_x - V_o}{R_2} \quad (ec. 31)$$

Como el terminal no inversor está conectado directamente a tierra, el valor de $V_x = 0$, por tanto:

$$\frac{V_i}{R_1} = \frac{-V_o}{R_2} \quad (ec. 32)$$

$$V_o = -\frac{R_2}{R_1} V_i \quad (ec. 33) \quad A_v = -\frac{R_2}{R_1} \quad (ec. 34)$$

$$V_i = 4,40 \text{ V} \quad (ec. 35)$$

$$V_o = -\frac{R_2}{R_1} V_i = -\frac{391 \text{ k}}{217,2 \text{ k}} * 4,40 \text{ V} = -7,92 \text{ V} \quad (ec. 36)$$

El valor de V_o , para una entrada $V_i = 4,40 \text{ V}$ equivale a $-7,92 \text{ V}$ la cual viene amplificada por la ganancia (ec. 26) e inversa por la realimentación negativa del circuito.

7.1.4 Amplificador no inversor

Al igual que con la configuración inversora, tras aplicar Kirchhoff en el nodo inversor:

$$I_1 = I_2 \quad (ec. 37)$$

$$\frac{0 - V_x}{R_1} = \frac{V_x - V_o}{R_2} \quad (ec. 38)$$

Como el voltaje de entrada, es igual al valor del voltaje del nodo inversor ($V_i = V_x$):

$$-\frac{V_i}{R_1} = \frac{V_i - V_o}{R_2} \quad (ec. 39)$$

Despejando V_o :

$$R_2 \left(\frac{-V_i}{R_1} \right) - V_i = -V_o \rightarrow V_o = \frac{V_i * R_2}{R_1} + V_i \quad (ec. 40)$$

$$V_o = \left(\frac{R_2}{R_1} + 1 \right) * V_i \quad (ec. 41) \quad A_v = 1 + \frac{R_2}{R_1} \quad (ec. 42)$$

$$V_i = 4,40 \text{ V} \quad (ec. 43)$$

$$V_o = \left(\frac{R_2}{R_1} + 1 \right) * V_i = \left(\frac{391 \text{ k}}{217,2 \text{ k}} + 1 \right) * 4,40 \text{ V} = \mathbf{12,32 \text{ V}} \quad (ec. 44)$$

Del mismo modo que el AO inversor, para $V_i = 4,40 \text{ V}$, la salida V_o toma un valor positivo, amplificado por la ganancia (ec. 42) con realimentación no inversora. Por tanto, $V_o = 12,32 \text{ V}$.

7.1.5 Amplificador Restador

Para obtener el voltaje de salida, aplicando la ley de Kirchhoff como anteriormente, obtenemos que:

$$I_1 = I_2 \quad (ec. 45)$$

$$\frac{V_1 - V_x}{R_1} = \frac{V_x - V_o}{R_2} \quad (ec. 46)$$

Donde la tensión en el nodo negativo como ya se ha visto en otros circuitos similares:

$$V^- = V^+ = V_x = \frac{R_2 * V_2}{R_1 + R_2} \quad (ec. 47)$$

Sustituyendo V_x (ec. 47) en la ecuación 46 (ec 46):

$$\frac{V_1 - \frac{R_2 * V_2}{R_1 + R_2}}{R_1} = \frac{\frac{R_2 * V_2}{R_1 + R_2} - V_o}{R_2} \rightarrow V_1 * R_2 - \frac{R_2^2 * V_2}{R_1 + R_2} - \frac{V_2 * R_1 * R_2}{R_1 + R_2} = -V_o * R_1 \quad (ec. 48)$$

$$V_1 * R_2 - \frac{R_2 * V_2}{R_1 + R_2} (R_2 + R_1) = -V_o * R_1 \rightarrow V_1 * R_2 - R_2 * V_2 = -V_o * R_1 \quad (ec. 49)$$

Despejando V_o finalmente se obtiene que:

$$V_o = \frac{R_2}{R_1} (V_2 - V_1) \quad (ec. 50) \quad A_v = \frac{R_2}{R_1} \quad (ec. 51) \quad V_2 - V_1 = V_d \quad (ec. 52)$$

$V_d =$ Entrada en modo diferencial

$$V_i = 4,40 V \quad (ec. 53)$$

$$V_o = \frac{R_2}{R_1} (V_2 - V_1) = \frac{219,2 k}{214,6 k} (4,40 V - 4,40 V) = 0 V \quad (ec. 54)$$

Para $V_i = 4,40 V$, el valor de la señal de salida es proporcional a la resta de ambas señales. Como en este trabajo, las dos señales tienen el mismo valor, la resta de ambas da como resultado un valor de $V_o = 0 V$.

7.1.6 Amplificador sumador inversor

Para su análisis se emplea el mismo procedimiento que los anteriores. Partiendo de la ley de Kirchhoff:

$$I = I_1 + I_2 \quad (ec. 55)$$

Aplicando la ley de Ohm, y conociendo que la tensión $V_x = 0$ (terminal no inversor conectado directamente a tierra) las corrientes quedan expresadas de forma que:

$$\begin{cases} I1 = \frac{V1 - Vx}{R1} \\ I2 = \frac{V2 - Vx}{R2} \\ I = \frac{Vx - Vo}{R3} \end{cases} \quad (ec. 56)$$

Sustituyendo estas expresiones en la ecuación se obtiene:

$$\frac{0 - Vo}{R3} = \frac{V1 - 0}{R1} + \frac{V2 - 0}{R2} \rightarrow -\frac{Vo}{R3} = \frac{V1}{R1} + \frac{V2}{R2} \quad (ec. 57)$$

Despejando Vo de la ecuación:

$$Vo = -R3 \left(\frac{V1}{R1} + \frac{V2}{R2} \right) \rightarrow \text{Si } R1 = R2 = R3 \rightarrow Vo = -(V1 + V2) \quad (ec. 58)$$

$$Vi = 4,40 V \quad (ec. 59)$$

$$Vo = -R3 \left(\frac{V1}{R1} + \frac{V2}{R2} \right) = -219,2 k \left(\frac{4,40 V}{217,2 k} + \frac{4,40 V}{214,6 k} \right) = -8,935 V \quad (ec. 60)$$

Para $V_i = 4,40 V$ el valor de salida es proporcional a la suma de las dos señales de entrada, con realimentación negativa. Por tanto, $V_o = -8,93 V$.

7.1.7 Amplificador sumador no inversor

Su análisis se realiza de la misma manera que otras configuraciones. Aplicando Kirchhoff en ambos terminales:

$$I1 - I2 = 0 \quad (ec. 61)$$

$$-I3 + I4 = 0 \quad (ec. 62)$$

Aplicando la ley de Ohm, las corrientes quedan de la siguiente manera:

$$\begin{cases} I1 = \frac{V1 - Vx}{R1} \\ I2 = \frac{V2 - Vx}{R2} \\ I3 = \frac{0 - Vx}{R4} \\ I4 = \frac{Vx - Vo}{R3} \end{cases} \quad (ec. 63)$$

Sustituyendo estas ecuaciones en las expresiones:

$$I1 = I2 \rightarrow \frac{V1 - Vx}{R1} = \frac{V2 - Vx}{R2} \rightarrow R2 * (V1 - Vx) = R1 * (Vx - V2) \quad (ec. 64)$$

$$Vx(-R2 - R1) = -V2 * R1 - V1 * R2 \quad (ec. 65)$$

Despejando Vx de la ecuación:

$$Vx = \frac{-V2 * R1 - V1 * R2}{-R2 - R1} = \frac{V2 * R1 + V1 * R2}{R2 + R1} \quad (ec. 66)$$

Realizamos la misma operación con la ecuación (35):

$$I4 = I3 \rightarrow \frac{Vx - Vo}{R3} = \frac{0 - Vx}{R4} \rightarrow R4 * (Vx - Vo) = -Vx * R3 \quad (ec. 67)$$

$$Vx * (R4 + R3) = Vo * R4 \quad (ec. 68)$$

$$Vx = \frac{Vo * R4}{R4 + R3} \quad (ec. 69)$$

Por último, igualando ambas expresiones de Vx obtenemos la expresión final de Vo:

$$\frac{Vo * R4}{R4 + R3} = \frac{V2 * R1 + V1 * R2}{R2 + R1} \quad (ec. 70)$$

$$Vo = \frac{R3 + R4}{R4} * \frac{V2 * R1 + V1 * R2}{R1 + R2} \rightarrow Si R1 = R2 = R \quad Vo = \frac{R3 + R4}{2 * R4} (V1 + V2) \quad (ec. 71)$$

$$V_i = 3,40 \text{ V} \quad (\text{ec. 72})$$

$$V_o = \frac{R_3 + R_4}{R_4} * \frac{V_2 * R_1 + V_1 * R_2}{R_1 + R_2} = \frac{220,2 + 217,2}{217,2} * \frac{3,40 * 223,2 + 3,40 * 219,2}{223,2 + 216,2} \quad (\text{ec. 73})$$

$$V_o = 6,847 \text{ V} \quad (\text{ec. 74})$$

Para $V_i = 3,40 \text{ V}$, el valor que toma la salida es proporcional a la suma de ambas señales, por lo que $V_o = 6,84 \text{ V}$.

7.1.8 Amplificador integrador en configuración inversora

$$V_o = -\frac{1}{RC} \int_0^t V_i(t) dt \quad (\text{ec. 75})$$

Sabiendo que la integral de una constante es una función lineal, en los tramos donde $V_i = \text{constante}$ de la onda cuadrada de entrada, la tensión de salida V_o es ascendente o descendente en función del tiempo, que viene dado por los límites de integración de la ecuación.

7.1.9 Amplificador diferenciador en configuración inversora (Derivador)

$$V_o = -RC \frac{dV_1}{dt} \quad (\text{ec. 76})$$

A diferencia del integrador, la señal de salida que se obtiene de esta configuración es la derivada respecto al tiempo de la señal de entrada, por lo que la señal de salida es proporcional a la velocidad de variación de la señal de entrada.

7.2 Anexo II. Presupuesto

En este anexo se detalla el presupuesto final del trabajo, donde se divide los gastos pertenecientes a los materiales [6], [7], [8], y los gastos generales.

Para la realización de este capítulo se han extraído los datos de presupuesto de los componentes principalmente de Nalber, distribuidor a toda Canarias, y RS Components, distribuidor de productos de electrónica y mantenimiento industrial en Europa y Asia Pacífico.

Todos los componentes han sido escogidos con una tecnología de agujeros pasantes (THD), al igual que la empleada en el diseño de la PCB.

7.2.1 Coste materiales

	Componente	Descripción	Unidades	Coste €/u.	Total
1	SN74HC595N	Registro de bits, desplazamiento, 8 bits, 3 estados DIP-16	3	1,60	4,80 €
2	UA741CN	Amplificador Operacional simple DIP-8	1	0,64	0,64 €
3	Arduino Uno	PCB de desarrollo Arduino UNO	1	29,00	29,00 €
4	SIP-1A05	Relé estado sólido de 5V	18	0,82	14,76 €
5	Conector 2 pines	Bloque de terminales (2 conexiones)	1	0,60	0,60 €
6	Conector 3 pines	Bloque de terminales (3 conexiones)	2	0,86	1,72 €
7	Pulsador	Switch de botón 4 pines	2	0,65	1,30 €
8	Condensador 1 nF	Condensador de 1 nF	2	0,44	0,88 €
9	Condensador 470 nF	Condensador de 470 nF	1	0,74	0,74 €
10	Condensador 100 nF	Condensador de 100 nF	4	0,62	2,48 €
11	Resistencia 4,7 kΩ	Resistencia de 4,7 kΩ	2	0,17	0,34 €
12	Resistencia 220 kΩ	Resistencia de 220 kΩ	5	0,02	0,10 €
13	Resistencia 390 kΩ	Resistencia de 390 kΩ	2	0,01	0,02 €
14	Cables	Kit de Cable Conector para Placas de Prueba MikroElektronika MIKROE-511, 10 piezas	3	2,79	8,37 €
15	PCB	PCB 1 cara 200x300mm	1	6,81	6,81 €
Total bruto					72,56 €

Tabla 5. Presupuesto de gastos materiales.

Además de este presupuesto, se ha de tener en cuenta que no se han incluido otros materiales proporcionados por el laboratorio para realizar las pruebas y mediciones necesarias como las protoboards, el multímetro, y otros aparatos de medida y generación de señales.

7.2.2 Coste mano de obra

Descripción	Tiempo necesario (h)	Coste €/h.	Total
Análisis y Diseño			
Circuito Electrónico	20	20,00	400,00 €
PCB	30	20,00	600,00€
Total Diseño			1.000,00 €
Fabricación PCB	10	24,00	240,00 €
Documentación técnica	35	18,00	630,00 €

Total bruto	1.870,00 €
--------------------	-------------------

Tabla 6. Presupuesto de mano de obra.

El coste de la mano de obra se calcula basándose en el tiempo que ha llevado a la realización del trabajo, desde su etapa de análisis y diseño, hasta la fabricación y su documentación final.

7.2.3 Coste total del trabajo

Descripción	Coste total
Materiales	72,56 €
Mano de obra	1.870,00 €
Total bruto	1.942,56 €

Tabla 7. Presupuesto total bruto.

A este coste final proveniente de los gastos materiales y la mano de obra se le debe aplicar los porcentajes correspondientes al 6% para los gastos generales y al 13% para los beneficios industriales.

Descripción	Coste total
Total bruto	1.942,56 €
Gastos generales (6%)	116,55 €
Beneficios industriales (13%)	252,53 €
Total	2.311,64 €
IGIC (7%)	161,81 €
Total	2.473,45 €

Tabla 8. Presupuesto final del trabajo.

Finalmente, el presupuesto final del trabajo para la fabricación de la PCB del circuito electrónico reconfigurable asciende a la cifra de **(2.473,45 €) DOS MIL CUATROCIENTOS SETENTA Y TRES EUROS CON CUARENTA Y CINCO CÉNTIMOS.**

7.3 Anexo III. Código programación Arduino

Para poder activar y desactivar cada uno de los relés se utiliza un código de programación con el programa Arduino IDE donde se implementa el proceso para activar las salidas de los registros de desplazamientos, y así poder abrir o cerrar los relés a través de estos estados (Qx), así como la programación para poder seleccionar la configuración del operacional con los pulsadores.

Código de programación del circuito selector:

```
int pinData = 2;
int pinLatch = 3;
int pinClock = 4;
int categoria = 0;
int menu = 0;
int submenu = 0;
int btn1 = A0;
int btn2 = A2;

void ledWrite(int Reg3, int Reg2, int Reg1){
  shiftOut(pinData, pinClock, LSBFIRST, Reg1);
  shiftOut(pinData, pinClock, LSBFIRST, Reg2);
  shiftOut(pinData, pinClock, LSBFIRST, Reg3);
}

void setup(){

  pinMode(pinData, OUTPUT);
  pinMode(pinLatch, OUTPUT);
  pinMode(pinClock, OUTPUT);
  pinMode(btn1, INPUT);
  pinMode(btn2, INPUT);
  Serial.begin(9600);

  Serial.println("Seleccionar Tipo Amplificador");
}

void loop(){

  int lectural1 = digitalRead(btn1);
  int lectura2 = digitalRead(btn2);

  if(lectural1 == 0) {
    if (categoria == 0) {
      if(menu == 9){
        menu = 0;
      }
      menu++;
    }
  }
}
```

```
switch(menu) {
  case 1: Serial.println("Comparador");
    break;

  case 2: Serial.println("Seguidor de Tension");
    break;

  case 3: Serial.println("Configuracion Inversora");
    break;

  case 4: Serial.println("Configuracion No Inversora");
    break;

  case 5: Serial.println("Restador");
    break;

  case 6: Serial.println("Sumador Inversor");
    break;

  case 7: Serial.println("Sumador No Inversor");;
    break;

  case 8: Serial.println("Integrador");
    break;

  case 9: Serial.println("Derivador");
    break;
}
}

while(!digitalRead(btn1));

if(lectura2 == 0) {
  categoria++;
  if(categoria == 1) {
    if(menu == 1) {
      Serial.println("->A.Comparador");
      digitalWrite(pinLatch, LOW);
      ledWrite(148, 72, 0);
      digitalWrite(pinLatch, HIGH);
    }

    if(menu == 2) {
      Serial.println("->A.Seguidor");
      digitalWrite(pinLatch, LOW);
      ledWrite(132, 10, 0);
      digitalWrite(pinLatch, HIGH);
    }

    if(menu == 3) {
      Serial.println("->A.Inversor");
      digitalWrite(pinLatch, LOW);
      ledWrite(162, 36, 128);
      digitalWrite(pinLatch, HIGH);
    }
  }
}
```

```
    }

    if(menu == 4) {
        Serial.println("->A.No Inversor");
        digitalWrite(pinLatch,LOW);
        ledWrite(148,36,128);
        digitalWrite(pinLatch,HIGH);
    }

    if(menu == 5) {
        Serial.println("->A.Restador");
        digitalWrite(pinLatch,LOW);
        ledWrite(204,133,0);
        digitalWrite(pinLatch,HIGH);
    }

    if(menu == 6) {
        Serial.println("->A.Sumador Inversor");
        digitalWrite(pinLatch,LOW);
        ledWrite(234,41,0);
        digitalWrite(pinLatch,HIGH);
    }

    if(menu == 7) {
        Serial.println("->A.Sumador No Inversor");
        digitalWrite(pinLatch,LOW);
        ledWrite(213,37,0);
        digitalWrite(pinLatch,HIGH);
    }

    if(menu == 8) {
        Serial.println("->A.Integrador");
        digitalWrite(pinLatch,LOW);
        ledWrite(162,36,64);
        digitalWrite(pinLatch,HIGH);
    }

    if(menu == 9) {
        Serial.println("->A.Derivador");
        digitalWrite(pinLatch,LOW);
        ledWrite(162,21,0);
        digitalWrite(pinLatch,HIGH);
    }
}

while(!digitalRead(btn2));
}
```

7.4 Anexo IV. Esquema circuito electrónico reconfigurable

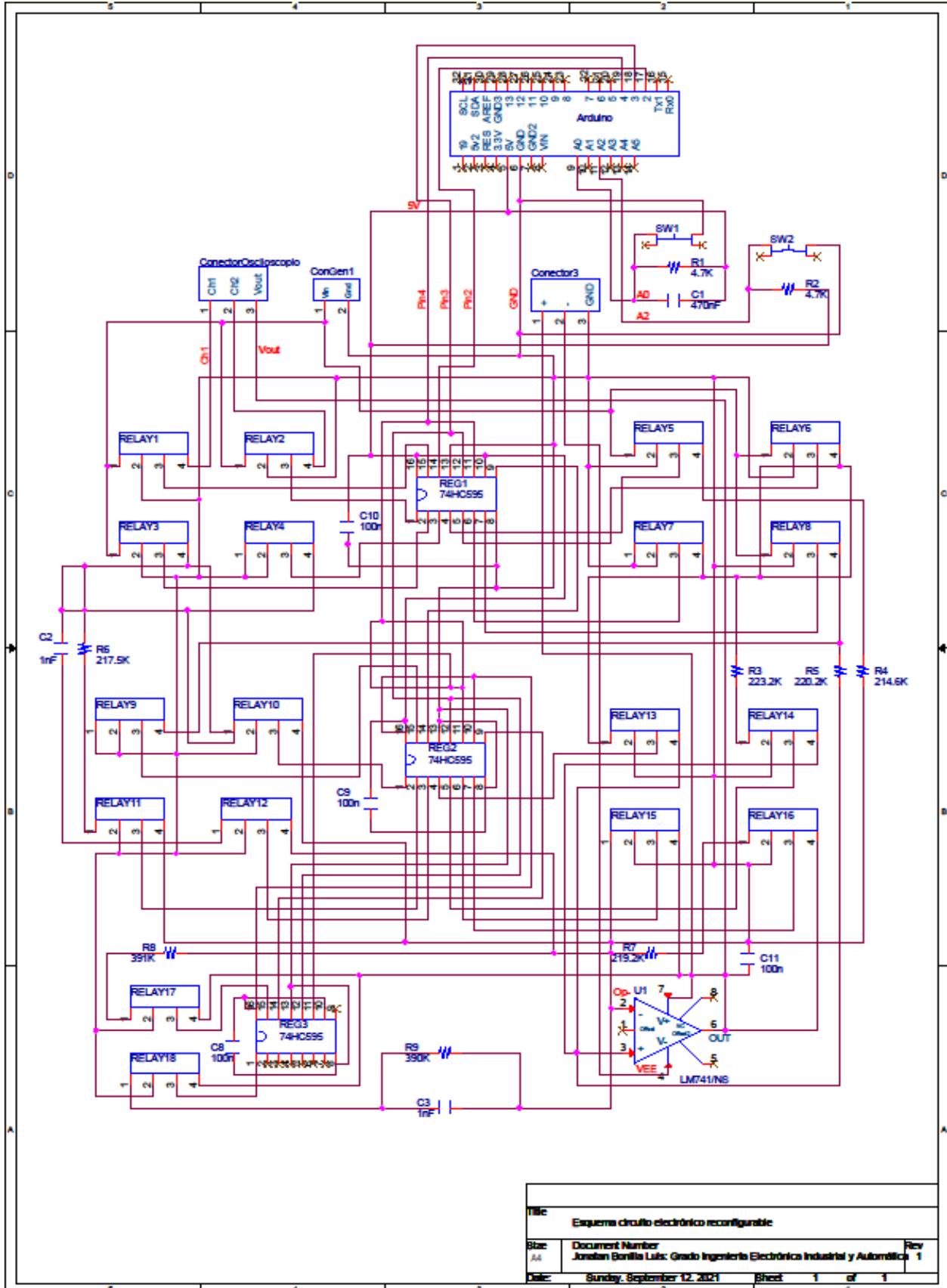


Figura 7.1. Esquema circuito electrónico reconfigurable.

7.5 Anexo V. Fotolitos PCB

7.5.1 Fotolito capa TOP

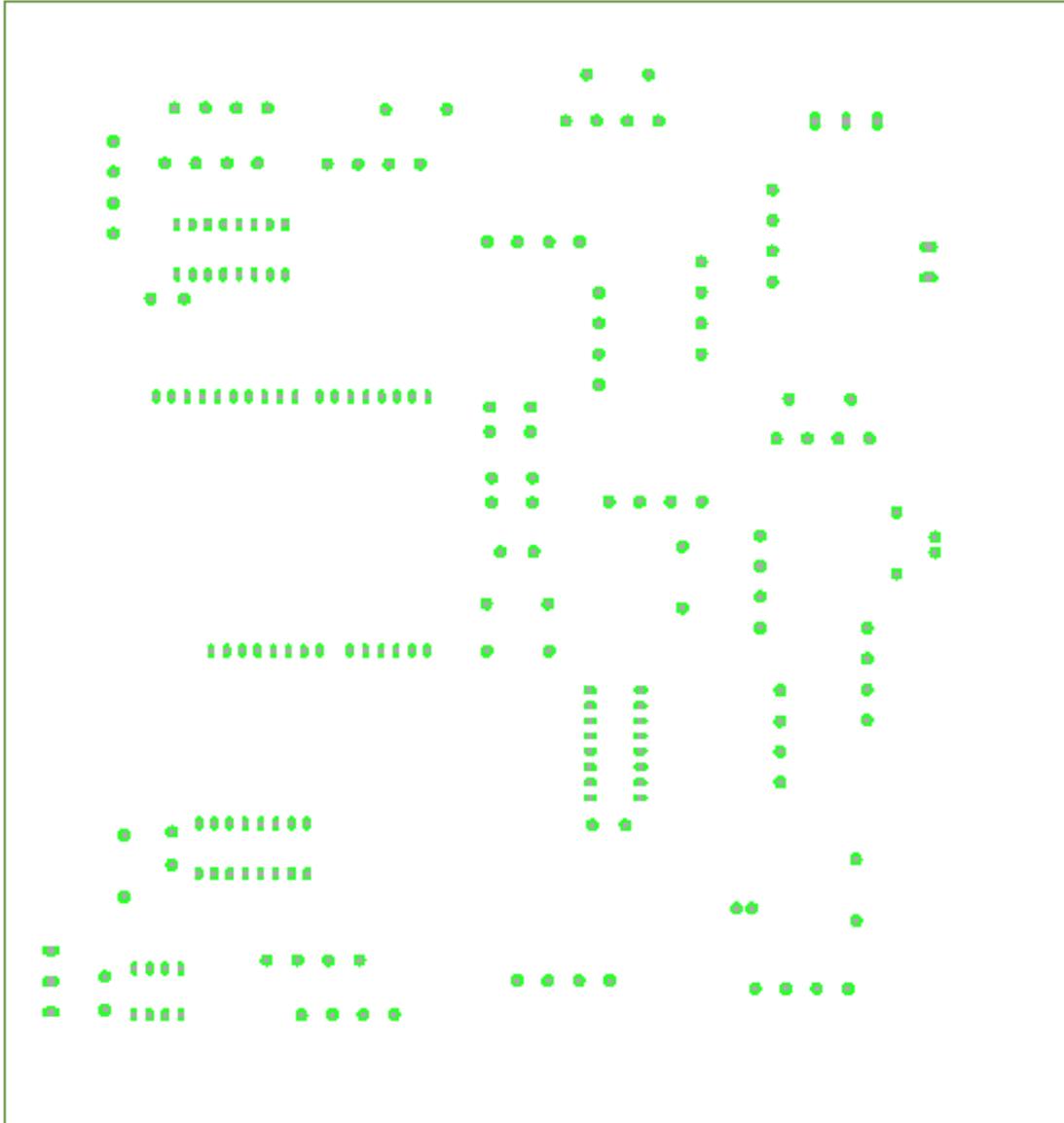


Figura 7.2. Fotolito capa TOP.

7.5.2 Fitolito capa BOTTOM

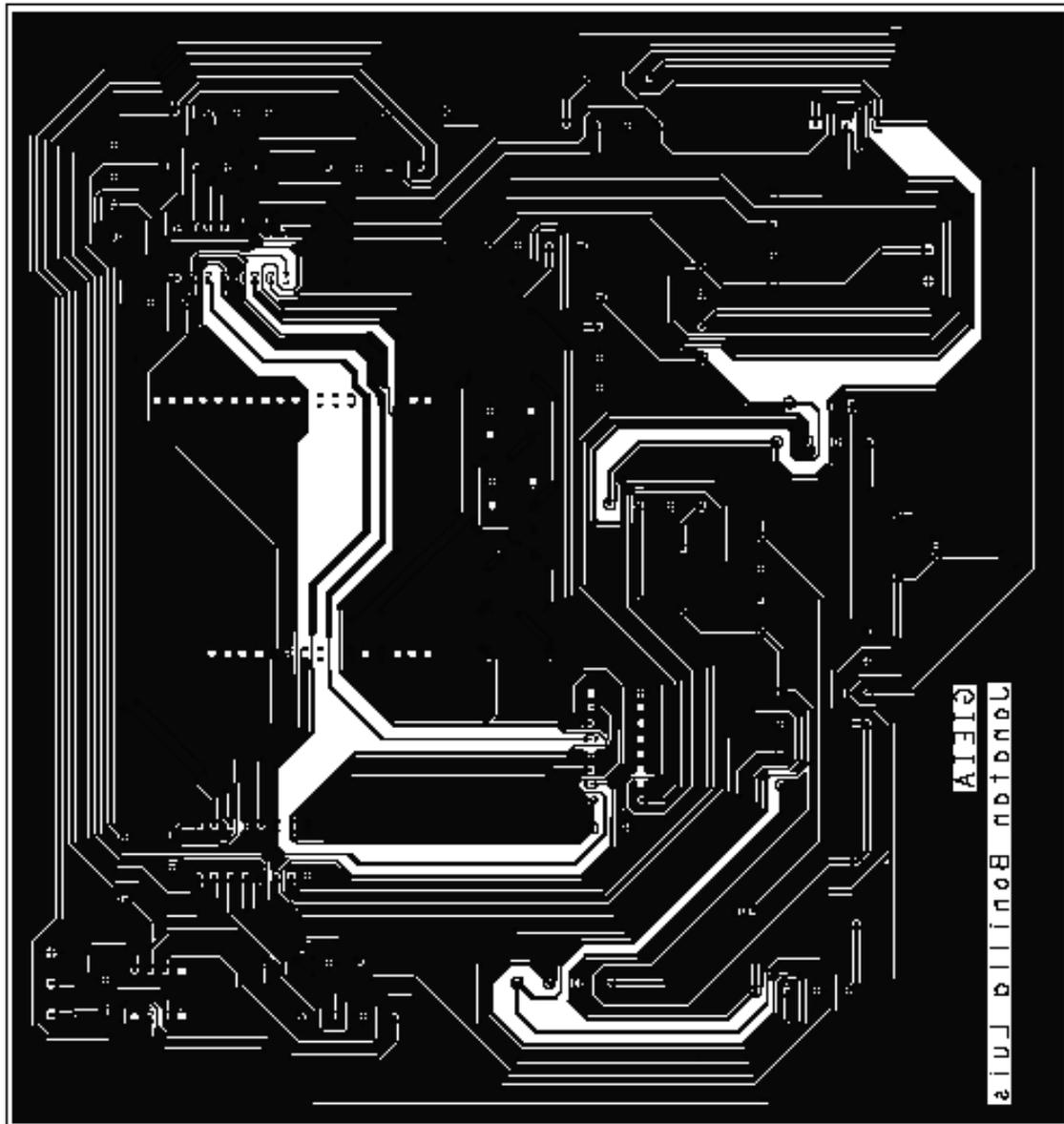


Figura 7.3. Fitolito capa BOTTOM.

7.6 Anexo VI. Documentación de salida PCB

7.6.1 Lista de materiales

Bill of Material Report

SYM_NAME	COMP_DEVICE_TYPE	COMP_VALUE	COMP_CLASS	REFDES
ARDUINO	ARDUINO_ARDUINO_ARDUINO	Arduino	IC	A1
CONDENSADOR470N	CONDENSADOR470N_CONDENSADOR470N_470NF	470nF	IC	C1
CONDENSADOR1N	CONDENSADOR1N_CONDENSADOR1N_1NF	1nF	IC	C2
CONDENSADOR1N	CONDENSADOR1N_CONDENSADOR1N_1NF	1nF	IC	C3
CONDENSADOR470N	CONDENSADOR100N_CONDENSADOR100N	Condensador100n	IC	C8
CONDENSADOR470N	CONDENSADOR100N_CONDENSADOR100N	Condensador100n	IC	C9
CONDENSADOR470N	CONDENSADOR100N_CONDENSADOR100N	Condensador100n	IC	C10
CONDENSADOR470N	CONDENSADOR100N_CONDENSADOR100N	Condensador100n	IC	C11
CONECTOR3PINES	CONECTOR3_CONECTOR3PINES_CONECTOR3	Conector3	IC	CON1
CONECTOR2PINES	CONGEN_CONECTOR2PINES_CONGEN	ConGen	IC	CONGEN1
CONECTOR3PINES	CONECTOROSCILOSCOPIO_CONECTOR3PINES	ConectorOsciloscopio	IC	CONOSC1
RESISTENCIA	RESISTENCIA_RESISTENCIA_4,7K	4,7K	IC	R1
RESISTENCIA	RESISTENCIA_RESISTENCIA_4,7K	4,7K	IC	R2
RESISTENCIA	RESISTENCIA_RESISTENCIA_223,2K	223,2K	IC	R3
RESISTENCIA	RESISTENCIA_RESISTENCIA_214,6K	214,6K	IC	R4
RESISTENCIA	RESISTENCIA_RESISTENCIA_220,2K	220,2K	IC	R5
RESISTENCIA	RESISTENCIA_RESISTENCIA_217,5K	217,5K	IC	R6
RESISTENCIA	RESISTENCIA_RESISTENCIA_219,2K	219,2K	IC	R7
RESISTENCIA	RESISTENCIA_RESISTENCIA_391K	391K	IC	R8
RESISTENCIA	RESISTENCIA_RESISTENCIA_390K	390K	IC	R9
SN74HC595N	74HC595_SN74HC595N_74HC595	74HC595	IC	REG1
SN74HC595N	74HC595_SN74HC595N_74HC595	74HC595	IC	REG2
SN74HC595N	74HC595_SN74HC595N_74HC595	74HC595	IC	REG3
RELE	RELE_RELE_RELE	Rele	IC	RELAY1
RELE	RELE_RELE_RELE	Rele	IC	RELAY2
RELE	RELE_RELE_RELE	Rele	IC	RELAY3
RELE	RELE_RELE_RELE	Rele	IC	RELAY4
RELE	RELE_RELE_RELE	Rele	IC	RELAY5
RELE	RELE_RELE_RELE	Rele	IC	RELAY6
RELE	RELE_RELE_RELE	Rele	IC	RELAY7
RELE	RELE_RELE_RELE	Rele	IC	RELAY8
RELE	RELE_RELE_RELE	Rele	IC	RELAY9
RELE	RELE_RELE_RELE	Rele	IC	RELAY10
RELE	RELE_RELE_RELE	Rele	IC	RELAY11
RELE	RELE_RELE_RELE	Rele	IC	RELAY12
RELE	RELE_RELE_RELE	Rele	IC	RELAY13
RELE	RELE_RELE_RELE	Rele	IC	RELAY14
RELE	RELE_RELE_RELE	Rele	IC	RELAY15
RELE	RELE_RELE_RELE	Rele	IC	RELAY16
RELE	RELE_RELE_RELE	Rele	IC	RELAY17
RELE	RELE_RELE_RELE	Rele	IC	RELAY18
PULSADOR	PULSADOR_PULSADOR_PULSADOR	Pulsador	IC	SW1

PULSADOR	PULSADOR_PULSADOR_PULSADOR	Pulsador	IC	SW2
UA741CN	AMP 741_UA741CN_LM741/NS	LM741/NS	IC	U1

Tabla 9. Informe lista de materiales.

7.6.3 Netlist

Net List Report

Net Name	Net Pins
5V	A1.5 C1.2 C8.2 C9.1 C10.1 R1.2 R2.2 REG1.10 REG1.16 REG2.10 REG2.16 REG3.10 REG3.16
A0	A1.9 C1.1 R1.1 SW1.1
A2	A1.11 R2.1 SW2.1
CH1	CONOSC1.1 RELAY1.4
CH2	CONOSC1.2 RELAY2.4
GND	A1.6 C8.1 C9.2 C10.2 C11.2 CON1.3 CONGEN1.2 REG1.8 REG1.13 REG2.8 REG2.13 REG3.8 REG3.13 RELAY1.2 RELAY2.2 RELAY3.2 RELAY4.1 RELAY4.2 RELAY5.2 RELAY6.2 RELAY7.1 RELAY7.2 RELAY8.2 RELAY9.1 RELAY9.2 RELAY10.2 RELAY11.2 RELAY12.2 RELAY13.2 RELAY14.2 RELAY15.2 RELAY16.2 RELAY17.2 RELAY18.2 SW1.3 SW2.3
N05450	REG1.15 RELAY1.3
N05905	REG1.9 REG2.14
N05918	REG1.1 RELAY2.3
N05931	REG1.2 RELAY3.3
N06386	REG1.3 RELAY4.3
N06511	REG1.4 RELAY5.3
N06527	REG1.5 RELAY6.3
N06543	REG1.6 RELAY7.3
N06553	REG1.7 RELAY8.3
N06589	REG2.15 RELAY9.3
N06991	REG2.9 REG3.14
N07004	REG2.1 RELAY10.3
N07011	REG2.2 RELAY11.3
N07021	REG2.3 RELAY12.3
N07034	REG2.4 RELAY13.3
N07050	REG2.5 RELAY14.3
N07066	REG2.6 RELAY15.3
N07076	REG2.7 RELAY16.3
N07122	REG3.15 RELAY17.3
N07286	REG3.1 RELAY18.3
N19622	R6.1 RELAY11.1
N19818	C2.1 RELAY12.1
N19994	R3.1 RELAY14.1
N20204	R7.2 RELAY16.1
N20302	R8.1 RELAY17.1
N20398	C3.1 R9.1 RELAY18.1
N20694	R4.2 RELAY5.4
N20794	R5.2 RELAY8.4 RELAY9.4

OP+	R5.1 RELAY13.4 RELAY14.4 U1.3
OP-	C3.2 R4.1 R7.1 R8.2 R9.2 RELAY10.4 RELAY11.4 RELAY12.4 RELAY15.1 U1.2
PIN2	A1.17 REG1.14
PIN3	A1.18 REG1.12 REG2.12 REG3.12
PIN4	A1.19 REG1.11 REG2.11 REG3.11
RAMA1	C2.2 R6.2 RELAY3.4 RELAY4.4 RELAY10.1
RAMA3	R3.2 RELAY6.4 RELAY7.4 RELAY13.1
VCC	C11.1 CON1.1 U1.7
VEE	CON1.2 U1.4
VIN	CONGEN1.1 RELAY1.1 RELAY2.1 RELAY3.1 RELAY5.1 RELAY6.1 RELAY8.1
VOUT	CONOSC1.3 RELAY15.4 RELAY16.4 RELAY17.4 RELAY18.4 U1.6

Tabla 10. Informe Netlist.

7.6.4 Informe de colocación de componentes

Placed Component Report

REFDES	COMP_TYPE	COMP_VALUE	SYM_NAME	SYM_X	SYM_Y	SYM_ROTATE
A1	ARDUINO_ARDUINO	Arduino	ARDUINO	32.400	82.200	90.000
C1	CONDENSADOR470N_470NF	470nF	CONDENSADOR470N	99.400	98.800	180.000
C2	CONDENSADOR1N_1NF	1nF	CONDENSADOR1N	132.700	39.800	0.000
C3	CONDENSADOR1N_1NF	1nF	CONDENSADOR1N	165.300	101.200	270.000
C8	CONDENSADOR100N _CONDENSADOR100N	Condensador100n	CONDENSADOR470N	114.500	53.600	180.000
C9	CONDENSADOR100N _CONDENSADOR100N	Condensador100n	CONDENSADOR470N	40.000	52.500	270.000
C10	CONDENSADOR100N _CONDENSADOR100N	Condensador100n	CONDENSADOR470N	42.000	140.600	180.000
C11	CONDENSADOR100N _CONDENSADOR100N	Condensador100n	CONDENSADOR470N	29.000	23.100	90.000
CON1	CONECTOR3_CONECTOR3	Conector3	CONECTOR3PINES	20.100	22.700	180.000
CONGEN1	CONGEN_CONGEN	ConGen	CONECTOR2PINES	164.200	149.200	270.000
CONOSC1	CONECTOROSCILOSCOPIO _CONECTOROSCILOSCOPIO	ConectorOsciloscopio	CONECTOR3PINES	145.600	170.000	90.000
R1	RESISTENCIA_4,7K	4,7K	RESISTENCIA	101.800	90.200	180.000
R2	RESISTENCIA_4,7K	4,7K	RESISTENCIA	101.900	82.400	180.000
R3	RESISTENCIA_223,2K	223,2K	RESISTENCIA	85.200	171.900	180.000
R4	RESISTENCIA_214,6K	214,6K	RESISTENCIA	118.300	177.700	180.000
R5	RESISTENCIA_220,2K	220,2K	RESISTENCIA	32.200	41.800	90.000
R6	RESISTENCIA_217,5K	217,5K	RESISTENCIA	151.500	124.000	180.000
R7	RESISTENCIA_219,2K	219,2K	RESISTENCIA	123.800	89.500	90.000
R8	RESISTENCIA_391K	391K	RESISTENCIA	152.300	37.800	90.000
R9	RESISTENCIA_390K	390K	RESISTENCIA	159.000	105.300	270.000
REG1	74HC595_74HC595	74HC595	SN74HC595N	58.600	152.900	270.000
REG2	74HC595_74HC595	74HC595	SN74HC595N	44.400	45.600	90.000
REG3	74HC595_74HC595	74HC595	SN74HC595N	116.900	58.200	180.000
RELAY1	RELE_RELE	Rele	RELE	91.700	150.000	90.000
RELAY2	RELE_RELE	Rele	RELE	138.600	143.400	180.000

RELAY3	RELE_RELE	Rele	RELE	126.900	146.700	0.000
RELAY4	RELE_RELE	Rele	RELE	110.100	126.400	180.000
RELAY5	RELE_RELE	Rele	RELE	119.900	170.000	270.000
RELAY6	RELE_RELE	Rele	RELE	65.500	162.900	90.000
RELAY7	RELE_RELE	Rele	RELE	55.700	172.100	270.000
RELAY8	RELE_RELE	Rele	RELE	54.100	163.000	270.000
RELAY9	RELE_RELE	Rele	RELE	30.400	166.600	0.000
RELAY10	RELE_RELE	Rele	RELE	136.600	101.500	0.000
RELAY11	RELE_RELE	Rele	RELE	154.100	86.200	0.000
RELAY12	RELE_RELE	Rele	RELE	111.900	27.900	270.000
RELAY13	RELE_RELE	Rele	RELE	70.800	31.300	270.000
RELAY14	RELE_RELE	Rele	RELE	76.500	22.300	270.000
RELAY15	RELE_RELE	Rele	RELE	139.900	75.900	0.000
RELAY16	RELE_RELE	Rele	RELE	127.000	107.100	270.000
RELAY17	RELE_RELE	Rele	RELE	151.000	26.600	270.000
RELAY18	RELE_RELE	Rele	RELE	154.500	117.500	270.000
SW1	PULSADOR_PULSADOR	Pulsador	PULSADOR	99.200	106.900	180.000
SW2	PULSADOR_PULSADOR	Pulsador	PULSADOR	98.900	118.600	180.000
U1	AMP 741_LM741/NS	LM741/NS	UA741CN	41.400	29.900	270.000

Tabla 11. Informe colocación de componentes.

7.7 Anexo VII. Datasheets

7.7.1 74HC595

INTEGRATED CIRCUITS

DATA SHEET

74HC595; 74HCT595

8-bit serial-in, serial or parallel-out
shift register with output latches;
3-state

Product specification
Supersedes data of 1998 Jun 04

2003 Jun 25

Philips
Semiconductors



PHILIPS

8-bit serial-in, serial or parallel-out shift register with output latches; 3-state
74HC595; 74HCT595
FEATURES

- 8-bit serial input
- 8-bit serial or parallel output
- Storage register with 3-state outputs
- Shift register with direct clear
- 100 MHz (typical) shift out frequency
- ESD protection:
HBM EIA/JESD22-A114-A exceeds 2000 V
MM EIA/JESD22-A115-A exceeds 200 V.

APPLICATIONS

- Serial-to-parallel data conversion
- Remote control holding register.

DESCRIPTION

The 74HC/HCT595 are high-speed Si-gate CMOS devices and are pin compatible with low power Schottky TTL (LSTTL). They are specified in compliance with JEDEC standard no. 7A.

The 74HC/HCT595 is an 8-stage serial shift register with a storage register and 3-state outputs. The shift register and storage register have separate clocks.

Data is shifted on the positive-going transitions of the SH_CP input. The data in each register is transferred to the storage register on a positive-going transition of the ST_CP input. If both clocks are connected together, the shift register will always be one clock pulse ahead of the storage register.

The shift register has a serial input (DS) and a serial standard output (Q7') for cascading. It is also provided with asynchronous reset (active LOW) for all 8 shift register stages. The storage register has 8 parallel 3-state bus driver outputs. Data in the storage register appears at the output whenever the output enable input (OE) is LOW.

QUICK REFERENCE DATA

GND = 0 V; T_{amb} = 25 °C; t_r = t_f = 8 ns.

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	TYPICAL		UNIT
			74HC	74HCT	
t _{PHL} /t _{PLH}	propagation delay SH_CP to Q7'	C _L = 50 pF; V _{CC} = 4.5 V	19	25	ns
	SH_CP to Qn		20	24	ns
	MR to Q7'		100	52	ns
f _{max}	maximum clock frequency SH_CP and ST_CP		100	57	MHz
C _I	input capacitance		3.5	3.5	pF
C _{PD}	power dissipation capacitance per package	notes 1 and 2	115	130	pF

Notes

1. C_{PD} is used to determine the dynamic power dissipation (P_D in μW).

$$P_D = C_{PD} \times V_{CC}^2 \times f_i \times N + \Sigma(C_L \times V_{CC}^2 \times f_o) \text{ where:}$$

f_i = input frequency in MHz;

f_o = output frequency in MHz;

C_L = output load capacitance in pF;

V_{CC} = supply voltage in Volts;

N = total load switching outputs;

Σ(C_L × V_{CC}² × f_o) = sum of the outputs.

2. For 74HC595 the condition is V_I = GND to V_{CC}.

For 74HCT595 the condition is V_I = GND to V_{CC} - 1.5 V.

**8-bit serial-in, serial or parallel-out shift
register with output latches; 3-state**
74HC595; 74HCT595
FUNCTION TABLE

See note 1.

INPUT					OUTPUT		FUNCTION
SH_CP	ST_CP	OE	MR	DS	Q7'	Qn	
X	X	L	L	X	L	n.c.	a LOW level on \overline{MR} only affects the shift registers
X	↑	L	L	X	L	L	empty shift register loaded into storage register
X	X	H	L	X	L	Z	shift register clear; parallel outputs in high-impedance OFF-state
↑	X	L	H	H	Q6'	n.c.	logic high level shifted into shift register stage 0; contents of all shift register stages shifted through, e.g. previous state of stage 6 (internal Q6') appears on the serial output (Q7')
X	↑	L	H	X	n.c.	Qn'	contents of shift register stages (internal Qn') are transferred to the storage register and parallel output stages
↑	↑	L	H	X	Q6'	Qn'	contents of shift register shifted through; previous contents of the shift register is transferred to the storage register and the parallel output stages

Note

- H = HIGH voltage level;
L = LOW voltage level;
↑ = LOW-to-HIGH transition;
↓ = HIGH-to-LOW transition;
Z = high-impedance OFF-state;
n.c. = no change;
X = don't care.

ORDERING INFORMATION

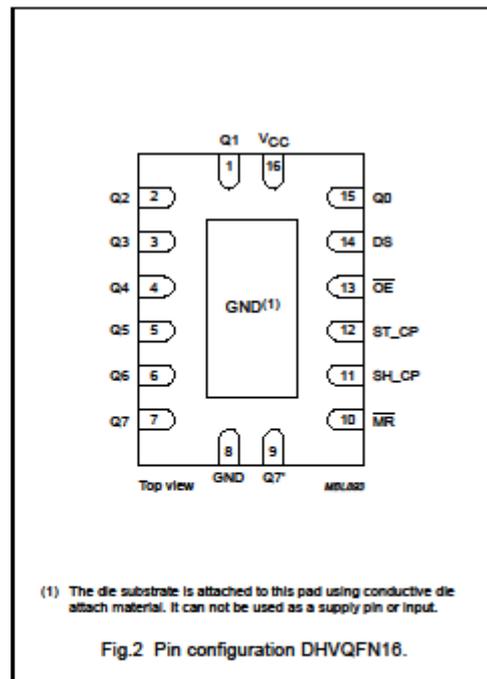
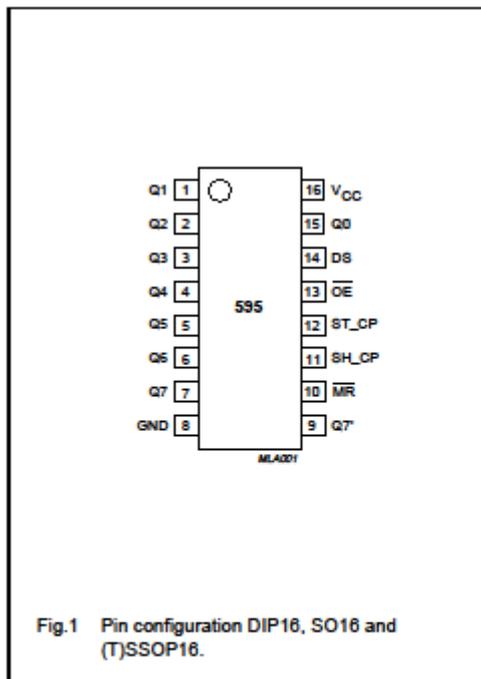
TYPE NUMBER	PACKAGE				
	TEMPERATURE RANGE	PINS	PACKAGE	MATERIAL	CODE
74HC595N	-40 to +125 °C	16	DIP16	plastic	SOT38-4
74HCT595N	-40 to +125 °C	16	DIP16	plastic	SOT38-4
74HC595D	-40 to +125 °C	16	SO16	plastic	SOT109-1
74HCT595D	-40 to +125 °C	16	SO16	plastic	SOT109-1
74HC595DB	-40 to +125 °C	16	SSOP16	plastic	SOT338-1
74HCT595DB	-40 to +125 °C	16	SSOP16	plastic	SOT338-1
74HC595PW	-40 to +125 °C	16	TSSOP16	plastic	SOT403-1
74HCT595PW	-40 to +125 °C	16	TSSOP16	plastic	SOT403-1
74HC595BQ	-40 to +125 °C	16	DHVQFN16	plastic	SOT763-1
74HCT595BQ	-40 to +125 °C	16	DHVQFN16	plastic	SOT763-1

8-bit serial-in, serial or parallel-out shift register with output latches; 3-state

74HC595; 74HCT595

PINNING

PIN	SYMBOL	DESCRIPTION
1	Q1	parallel data output
2	Q2	parallel data output
3	Q3	parallel data output
4	Q4	parallel data output
5	Q5	parallel data output
6	Q6	parallel data output
7	Q7	parallel data output
8	GND	ground (0 V)
9	Q7'	serial data output
10	MR	master reset (active LOW)
11	SH_CP	shift register clock input
12	ST_CP	storage register clock input
13	OE	output enable (active LOW)
14	DS	serial data input
15	Q0	parallel data output
16	V _{CC}	positive supply voltage

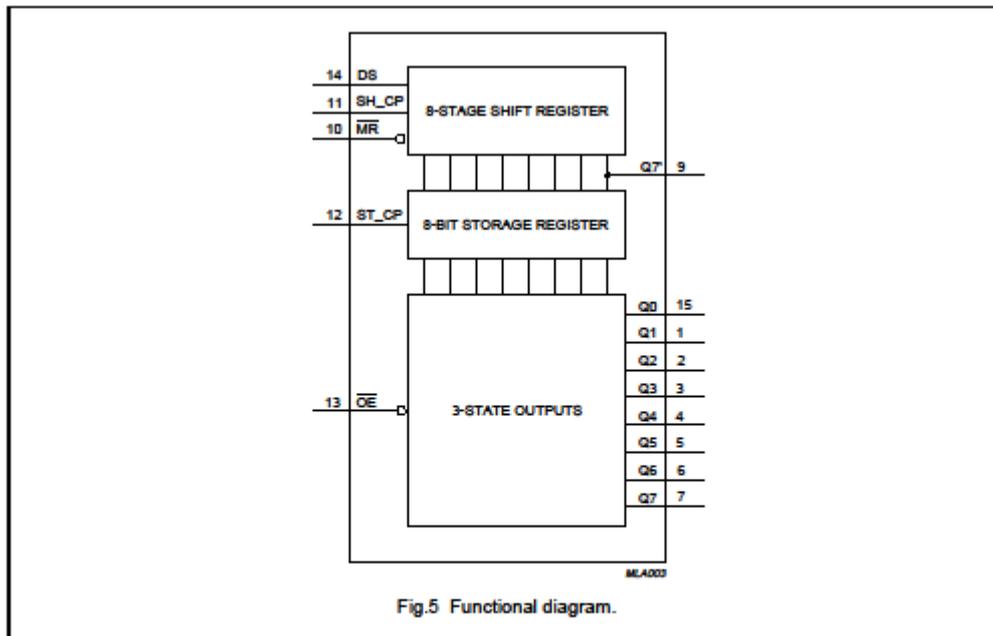
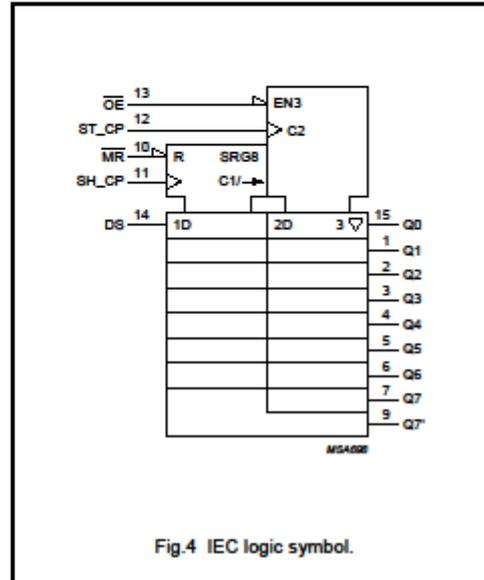
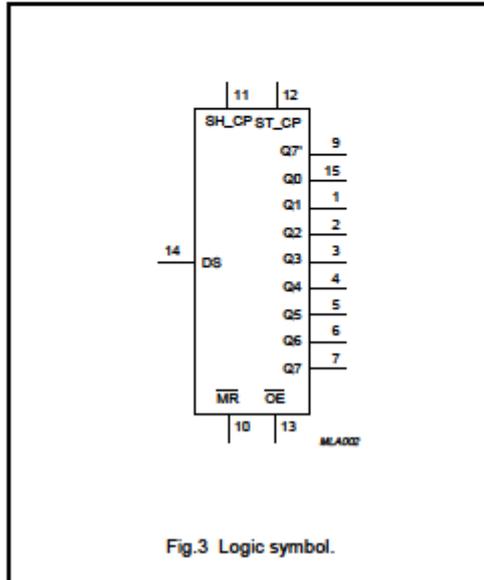


2003 Jun 25

4

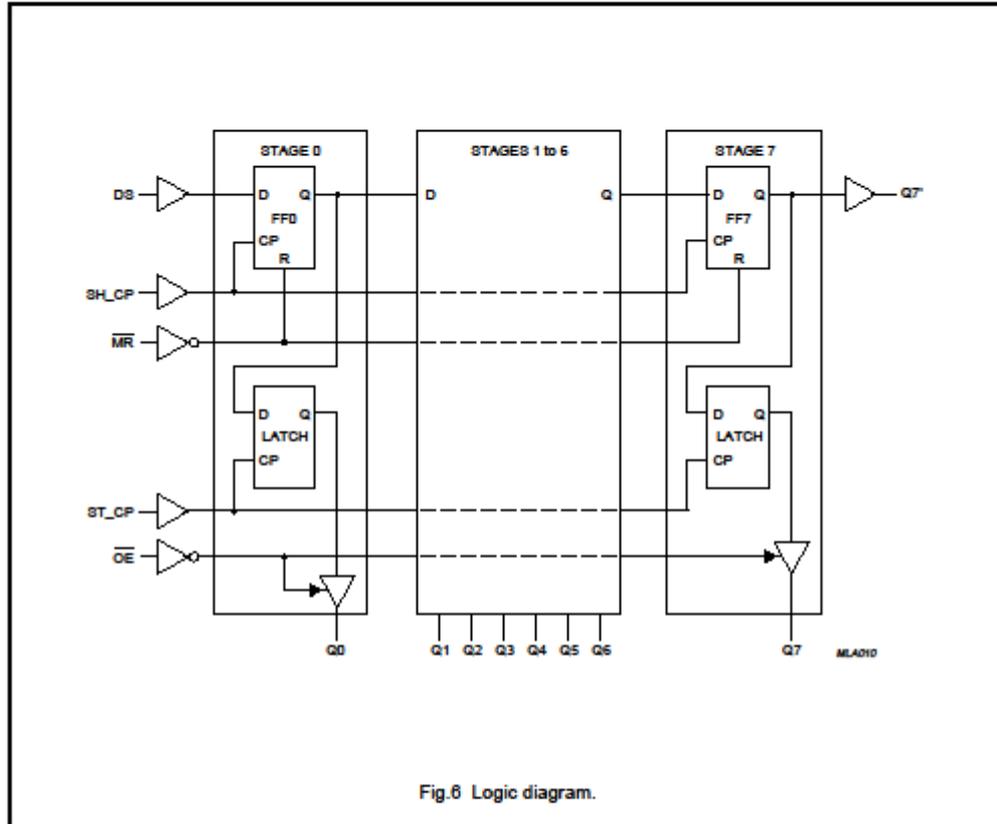
8-bit serial-in, serial or parallel-out shift register with output latches; 3-state

74HC595; 74HCT595



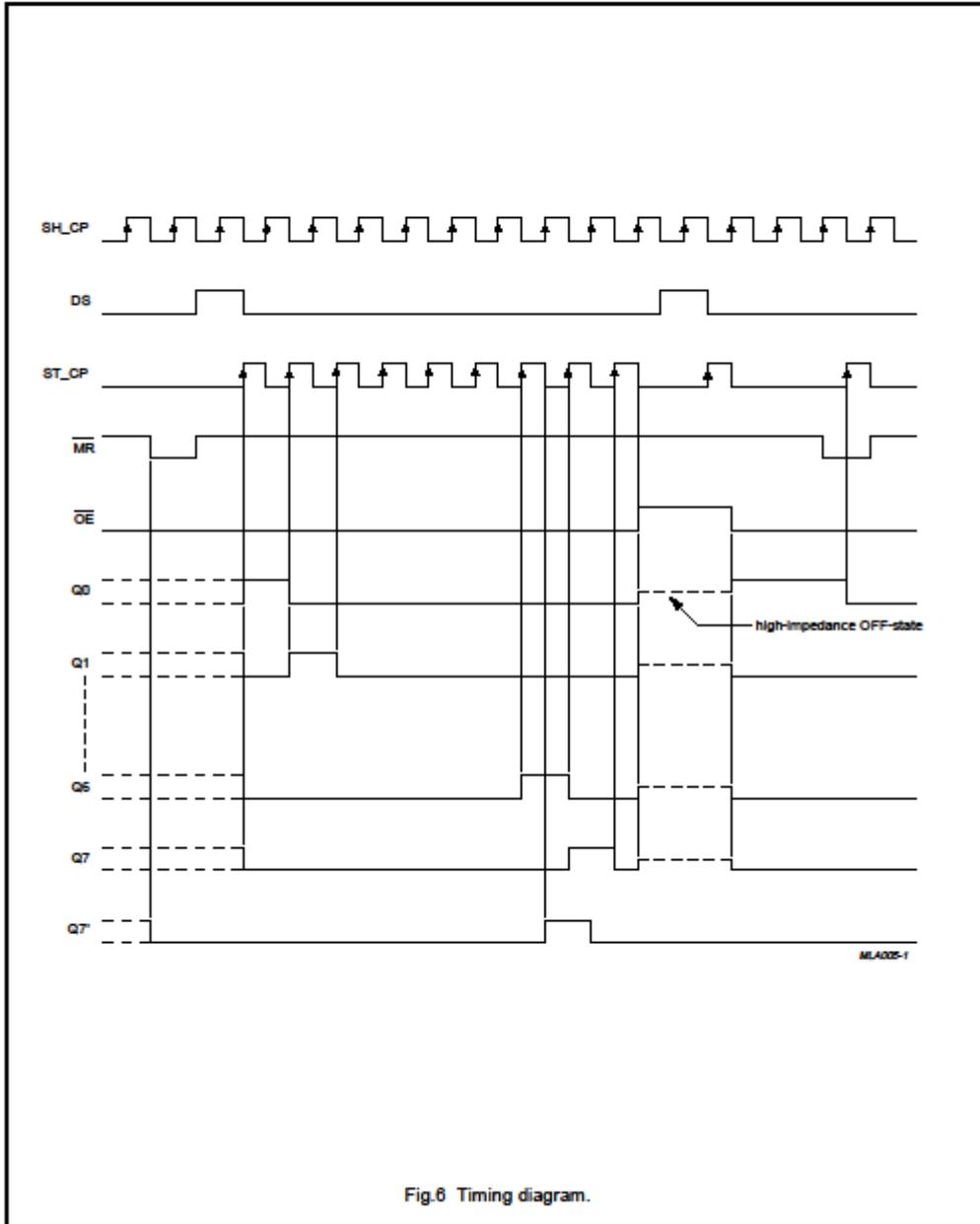
8-bit serial-in, serial or parallel-out shift register with output latches; 3-state

74HC595; 74HCT595



8-bit serial-in, serial or parallel-out shift register with output latches; 3-state

74HC595; 74HCT595



**8-bit serial-in, serial or parallel-out shift
register with output latches; 3-state**
74HC595; 74HCT595
RECOMMENDED OPERATING CONDITIONS

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	74HC			74HCT			UNIT
			MIN.	TYP.	MAX.	MIN.	TYP.	MAX.	
V_{CC}	supply voltage		2.0	5.0	6.0	4.5	5.0	5.5	V
V_I	input voltage		0	–	V_{CC}	0	–	V_{CC}	V
V_O	output voltage		0	–	V_{CC}	0	–	V_{CC}	V
T_{amb}	ambient temperature		–40	–	+125	–40	–	+125	°C
t_r, t_f	input rise and fall time	$V_{CC} = 2.0$ V	–	–	1000	–	–	–	ns
		$V_{CC} = 4.5$ V	–	6.0	500	–	6.0	500	ns
		$V_{CC} = 6.0$ V	–	–	400	–	–	–	ns

LIMITED VALUES

In accordance with the Absolute Maximum Rating System (IEC 60134); voltages are referenced to GND (ground = 0 V).

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN.	MAX.	UNIT
V_{CC}	supply voltage		–0.5	+7.0	V
I_{IK}	input diode current	$V_I < -0.5$ V to $V_I > V_{CC} + 0.5$ V	–	±20	mA
I_{OK}	output diode current	$V_O < -0.5$ V to $V_O > V_{CC} + 0.5$ V	–	±20	mA
I_O	output source or sink current	$V_O = -0.5$ V to $V_{CC} + 0.5$ V			
		Q7' standard output	–	±25	mA
		Qn bus driver outputs	–	±35	mA
I_{CC}, I_{GND}	V_{CC} or GND current		–	±70	mA
T_{stg}	storage temperature		–65	+150	°C
P_{tot}	power dissipation	$T_{amb} = -40$ to +125 °C; note 1	–	500	mW

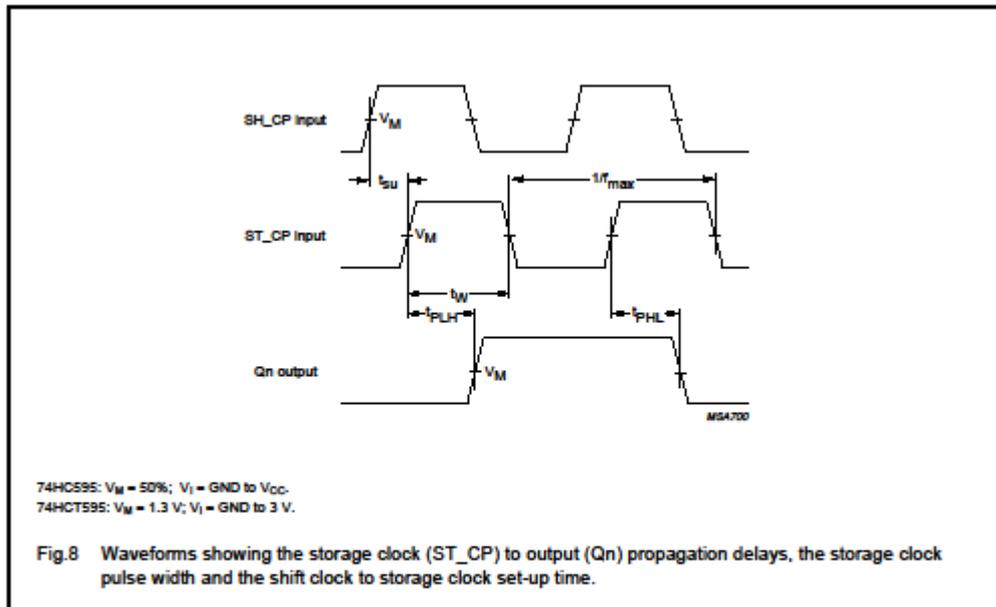
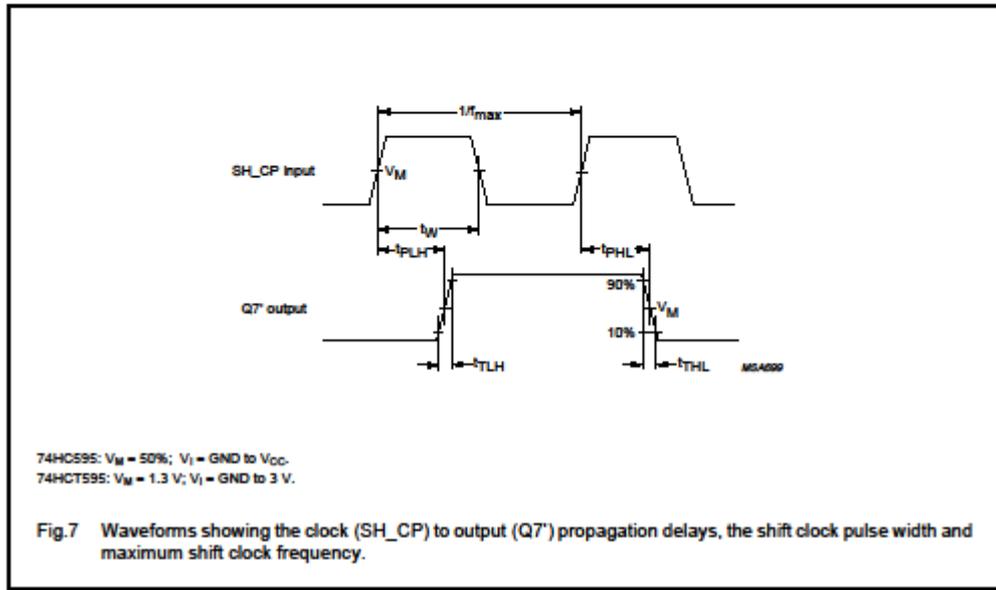
Note

- For DIP16 packages: above 70 °C derate linearly with 12 mW/K.
For SO16 packages: above 70 °C derate linearly with 8 mW/K.
For SSOP16 packages: above 80 °C derate linearly with 5.5 mW/K.
For TSSOP16 packages: above 80 °C derate linearly with 5.5 mW/K.
For DHVQFN16 packages: above 80 °C derate linearly with 4.5 mW/K.

8-bit serial-in, serial or parallel-out shift register with output latches; 3-state

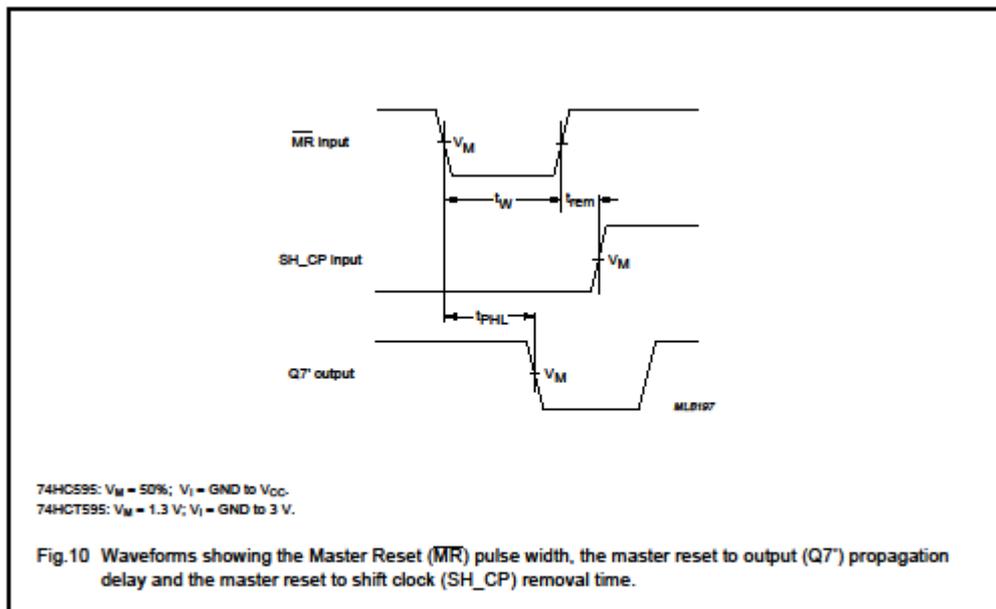
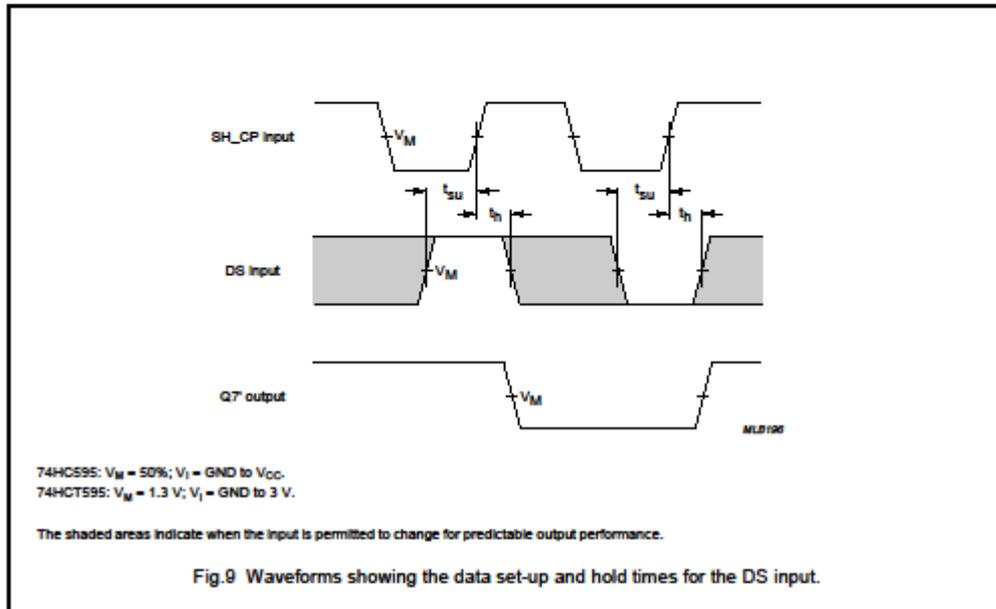
74HC595; 74HCT595

AC WAVEFORMS



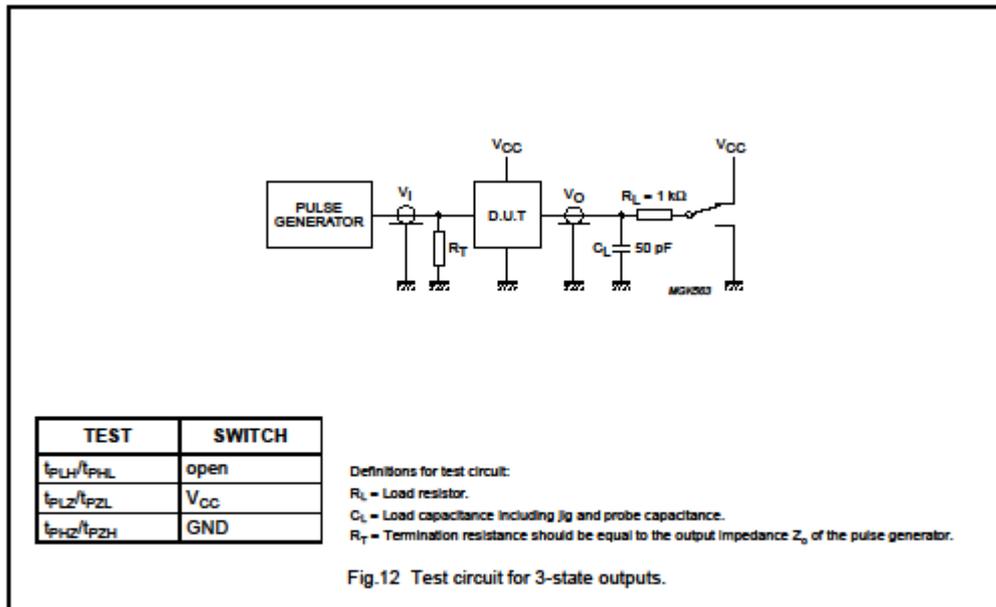
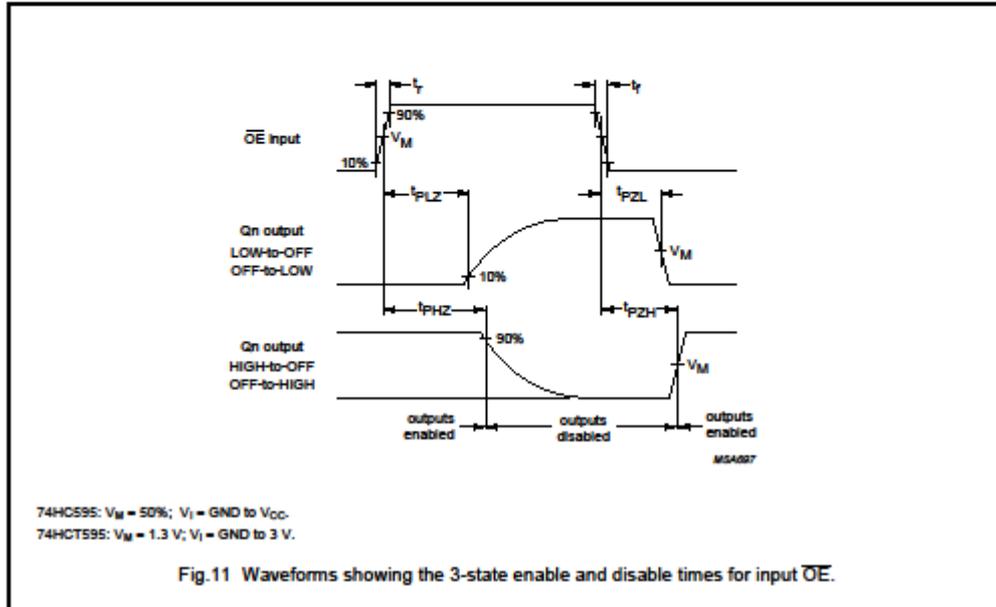
**8-bit serial-in, serial or parallel-out shift
register with output latches; 3-state**

74HC595; 74HCT595



8-bit serial-in, serial or parallel-out shift register with output latches; 3-state

74HC595; 74HCT595



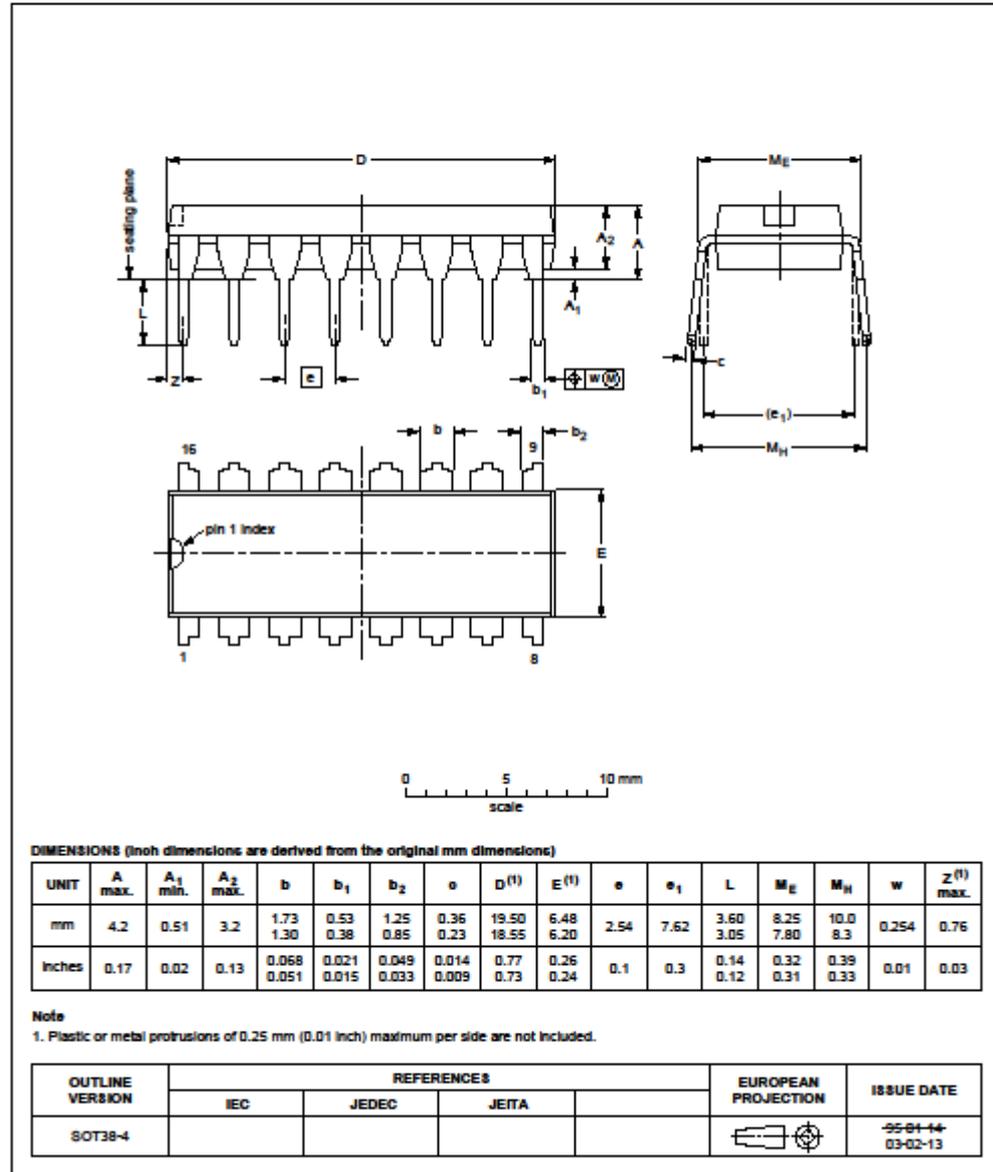
8-bit serial-in, serial or parallel-out shift register with output latches; 3-state

74HC595; 74HCT595

PACKAGE OUTLINES

DIP16: plastic dual in-line package; 16 leads (300 mil)

SOT38-4



7.7.2 LM741



www.fairchildsemi.com

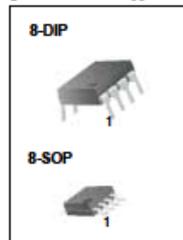
LM741
Single Operational Amplifier

Features

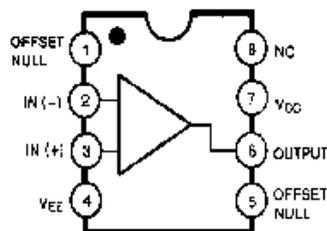
- Short circuit protection
- Excellent temperature stability
- Internal frequency compensation
- High Input voltage range
- Null of offset

Description

The LM741 series are general purpose operational amplifiers. It is intended for a wide range of analog applications. The high gain and wide range of operating voltage provide superior performance in integrator, summing amplifier, and general feedback applications.



Internal Block Diagram

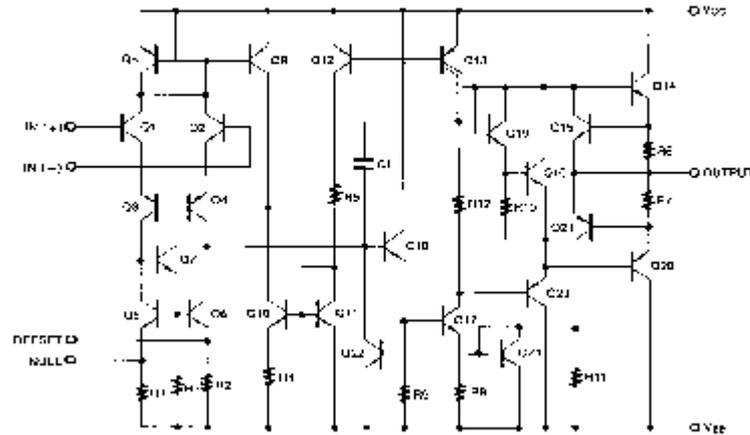


Rev. 1.0.1

©2001 Fairchild Semiconductor Corporation

LM741

Schematic Diagram



Absolute Maximum Ratings (TA = 25°C)

Parameter	Symbol	Value	Unit
Supply Voltage	VCC	±18	V
Differential Input Voltage	VI(DIFF)	30	V
Input Voltage	VI	±15	V
Output Short Circuit Duration	-	Indefinite	-
Power Dissipation	PD	500	mW
Operating Temperature Range	TOPR	0 ~ + 70 -40 ~ +85	°C
Storage Temperature Range	TSTG	-65 ~ + 150	°C

Electrical Characteristics

(VCC = 15V, VEE = - 15V. TA = 25 °C, unless otherwise specified)

Parameter	Symbol	Conditions	LM741C/LM741I			Unit	
			Min.	Typ.	Max.		
Input Offset Voltage	V _{IO}	R _S ≤ 10KΩ	-	2.0	6.0	mV	
		R _S ≤ 50Ω	-	-	-		
Input Offset Voltage Adjustment Range	V _{IO(R)}	VCC = ±20V	-	±15	-	mV	
Input Offset Current	I _{IO}	-	-	20	200	nA	
Input Bias Current	I _{BIAS}	-	-	80	500	nA	
Input Resistance (Note 1)	R _I	VCC = ±20V	0.3	2.0	-	MΩ	
Input Voltage Range	V _{I(R)}	-	±12	±13	-	V	
Large Signal Voltage Gain	G _V	R _L ≥ 2KΩ	VCC = ±20V, V _{O(P-P)} = ±15V	-	-	-	V/mV
			VCC = ±15V, V _{O(P-P)} = ±10V	20	200	-	
Output Short Circuit Current	I _{SC}	-	-	25	-	mA	
Output Voltage Swing	V _{O(P-P)}	VCC = ±20V	R _L ≥ 10KΩ	-	-	-	V
			R _L ≥ 2KΩ	-	-	-	
		VCC = ±15V	R _L ≥ 10KΩ	±12	±14	-	
			R _L ≥ 2KΩ	±10	±13	-	
Common Mode Rejection Ratio	CMRR	R _S ≤ 10KΩ, V _{CM} = ±12V	70	80	-	dB	
		R _S ≤ 50Ω, V _{CM} = ±12V	-	-	-		
Power Supply Rejection Ratio	PSRR	VCC = ±15V to VCC = ±15V R _S ≤ 50Ω	-	-	-	dB	
		VCC = ±15V to VCC = ±15V R _S ≤ 10KΩ	77	96	-		
Transient Response	Rise Time	Unity Gain	-	0.3	-	μs	
	Overshoot			10	-		%
Bandwidth	BW	-	-	-	-	MHz	
Slew Rate	SR	Unity Gain	-	0.5	-	V/μs	
Supply Current	I _{CC}	R _L = ∞Ω	-	1.5	2.8	mA	
Power Consumption	PC	VCC = ±20V	-	-	-	mW	
		VCC = ±15V	-	50	85		

Note:

1. Guaranteed by design.

LM741
Electrical Characteristics

 ($0^{\circ}\text{C} \leq T_A \leq 70^{\circ}\text{C}$ $V_{CC} = \pm 15\text{V}$, unless otherwise specified)

 The following specification apply over the range of $0^{\circ}\text{C} \leq T_A \leq +70^{\circ}\text{C}$ for the LM741C; and the $-40^{\circ}\text{C} \leq T_A \leq +85^{\circ}\text{C}$ for the LM741I

Parameter	Symbol	Conditions	LM741C/LM741I			Unit	
			Min.	Typ.	Max.		
Input Offset Voltage	V_{IO}	$R_S \leq 50\Omega$	-	-	-	mV	
		$R_S \leq 10\text{K}\Omega$	-	-	7.5		
Input Offset Voltage Drift	$\Delta V_{IO}/\Delta T$	-	-	-	$\mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$		
Input Offset Current	I_{IO}	-	-	-	300	nA	
Input Offset Current Drift	$\Delta I_{IO}/\Delta T$	-	-	-	-	$\text{nA}/^{\circ}\text{C}$	
Input Bias Current	I_{BIAS}	-	-	-	0.8	μA	
Input Resistance (Note 1)	R_I	$V_{CC} = \pm 20\text{V}$	-	-	-	$\text{M}\Omega$	
Input Voltage Range	$V_I(R)$	-	± 12	± 13	-	V	
Output Voltage Swing	$V_{O(P-P)}$	$V_{CC} = \pm 20\text{V}$	$R_S \geq 10\text{K}\Omega$	-	-	-	V
			$R_S \geq 2\text{K}\Omega$	-	-	-	
		$V_{CC} = \pm 15\text{V}$	$R_S \geq 10\text{K}\Omega$	± 12	± 14	-	
			$R_S \geq 2\text{K}\Omega$	± 10	± 13	-	
Output Short Circuit Current	I_{SC}	-	10	-	40	mA	
Common Mode Rejection Ratio	CMRR	$R_S \leq 10\text{K}\Omega$, $V_{CM} = \pm 12\text{V}$	70	90	-	dB	
		$R_S \leq 50\Omega$, $V_{CM} = \pm 12\text{V}$	-	-	-		
Power Supply Rejection Ratio	PSRR	$V_{CC} = \pm 20\text{V}$ to $\pm 5\text{V}$	$R_S \leq 50\Omega$	-	-	-	dB
			$R_S \leq 10\text{K}\Omega$	77	96	-	
Large Signal Voltage Gain	GV	$R_S \geq 2\text{K}\Omega$	$V_{CC} = \pm 20\text{V}$, $V_{O(P-P)} = \pm 15\text{V}$	-	-	-	V/mV
			$V_{CC} = \pm 15\text{V}$, $V_{O(P-P)} = \pm 10\text{V}$	15	-	-	
			$V_{CC} = \pm 15\text{V}$, $V_{O(P-P)} = \pm 2\text{V}$	-	-	-	

Note:

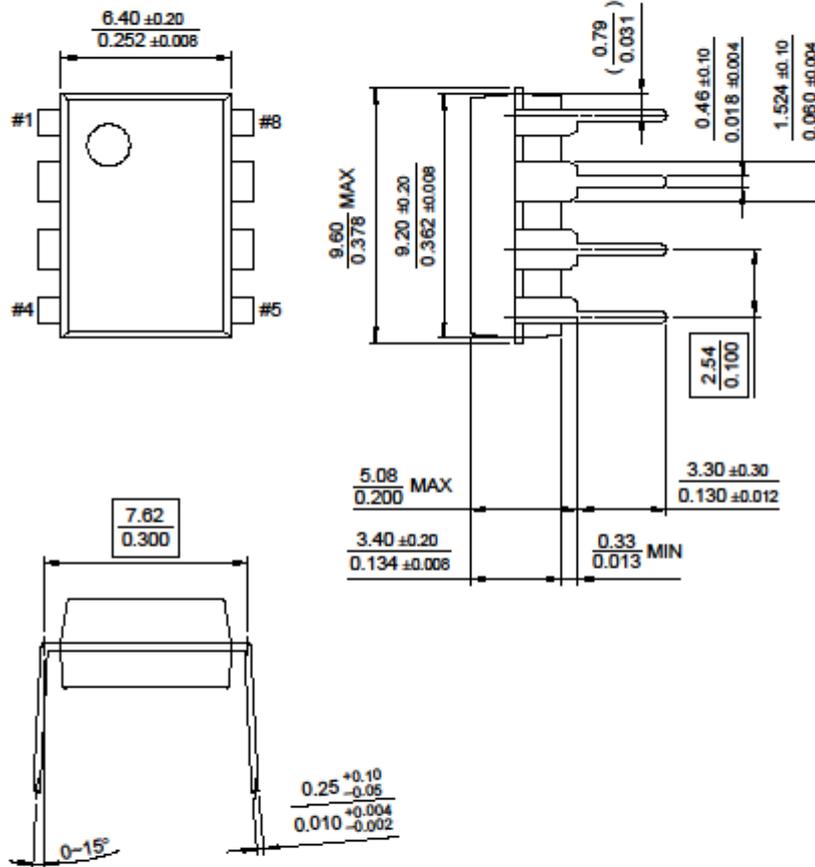
1. Guaranteed by design.

LM741

Mechanical Dimensions

Package

8-DIP



7.7.3 SIP-1A05



REED RELAYS

PART NUMBER 产品型号

SIP - XX XX XX

Producers Name 系列名称
Contact Form 触点形式

Options 选项
Nominal Voltage 额定电压

Picture	Part Number	Schematic Contact Form (Bottom View)	Nominal Voltage (VDC)	Coil Resistance (ohms±10%)	Nominal Input Power (mW)	Must Release Voltage (VDC)	Must Operate Voltage (VDC)	Maximum Voltage (VDC)
		1Form A						
	SIP-1A05		5	500	50	3.75	0.6	15.0
	SIP-1A12		12	1000	144	8.60	1.5	30.0
	SIP-1A24		24	2000	288	17.50	2.5	40.0

Options:

- Nil: Std Type
- B: Diode
- S: Magnetic Shield
- BS: Diode and Magnetic Shield

Features:

- Epoxy molded, single-in-line package.
- Can be immersed during board cleaning operations
- High density board mounting.
- High isolation between input and output
- Diode and Magnetic shield are available.
- Standard nominal coil voltage=5,12 and 24 volts.
- Can be meet special requirements for coil voltage and/or coil resistance.

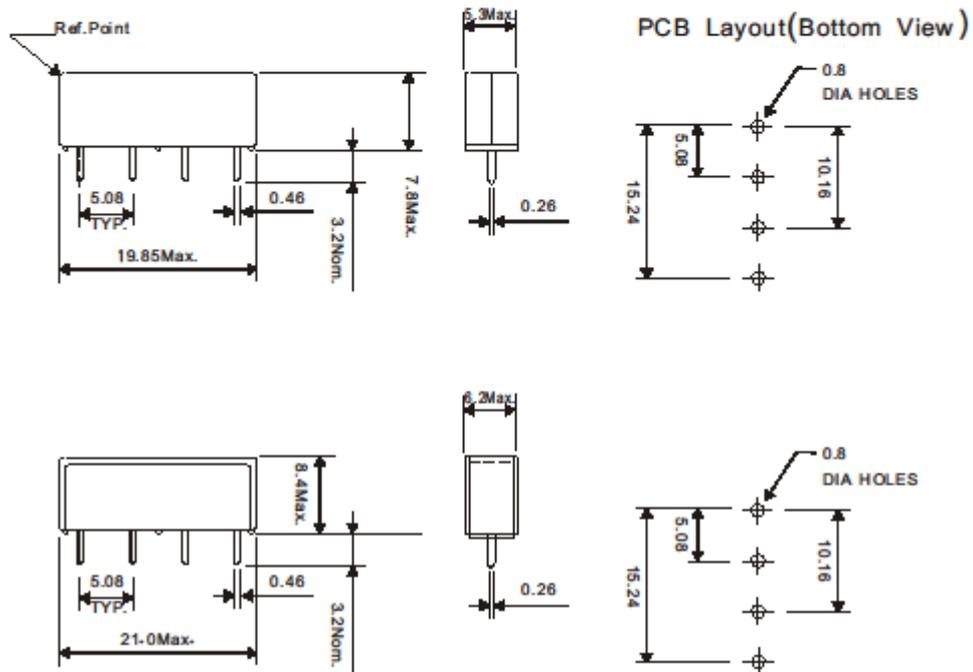
REED RELAYS

Single-In-Line Packages

Contact Form	触点形式	1A
Contact Rating	触点额定值	
Maximum switching power	最大切换功率	10VA (W)
Maximum switching voltage	最大切换电压	100VDC or peak AC
Maximum switching current	最大切换电流	0.50A
Maximum carry current	最大载流	1.00A
Contact Resistance(Lnitial)	接触电阻	150 milliohms Max.
Life Expectancy	寿命	
Signal level load (Ref,12VDC,10mA)		200X10 ⁶ Operations
Timing(at nominal VDC, 10HZ drive,50% duty cycle with diode suppression)		
Operate time,maximum (including Bounce)	动作时间	0.5ms
Release time,maximum	释放时间	0.5ms
Breakdown Voltage	击穿电压	
Coil to contact	线圈与触点之间	1400VDC(1000Vrms)
Across contact	触点间	250VDC(175Vrms)
Insulation Resistance	绝缘电阻	10 ⁸ OHMS
Capacitance		
Across open contacts	开触点间	1.0 pf Max.
Open contact to coil	开触点与线圈间	2.0 pf Max.
Environmental		
Temperature	温度	
Total internal relay (storage)		-40°C to+105°C
Operating		-40°C to+85°C
Shock resistance		100g,11±1ms,1/2 Sin Wave
Vibration resistance		20g,10 to 2000HZ

Mechanical Dimensions:

All dimensions are measured in millimeters



Ordering information:

SIP 1A 05 B

Contact Form	Nominal coil voltage	Options
1A:1FromA	05:5V	Nil:Std Type
1B:1FromB	12:12V	B:Diode
	24:24V	S:Magnetic Shield
		BS:Diode and Magnetic Shield

7.7.4 Bloque de terminales



ENGLISH

Datasheet

RS Pro 7.62mm Pitch Straight PCB Terminal Block with Screw Termination, Through Hole, 2 Way

RS Stock No: 790-1130



Product Details

RS Pro 7.62 mm pitch straight PCB terminal block has rectangular Tin plated PC tails which are 1 x 0.8 mm by 3.4 mm long. This 2-way pitch PCB terminal block with through hole mounting type, features screw cage clamp termination method.

RS, Professionally Approved Products, gives you professional quality parts across all products categories. Our range has been testified by engineers as giving comparable quality to that of the leading brands without paying a premium price.



ENGLISH

Specifications:

Body Orientation	Straight
Colour	Green
Current Rating	25 A
Depth	18 mm
Gender	Female
Length	15.24 mm
Material	Nylon 66
Mounting Type	Through Hole
Number of Contacts	2
Number of Rows	1
Pitch	7.62 mm
Termination Method	Screw
Type	PCB Terminal Block
Voltage Rating	300 V
Width	11.2 mm
Insulation Resistance	>2000 mΩ
American Wire Gauge	12 to 24 AWG
Insulation Withstand Voltage	2000 V ac
Operating Temperature Range	-40 to +105°C
Flammability Rating	UL 94 V-0

RS, Professionally Approved Products, gives you professional quality parts across all products categories. Our range has been testified by engineers as giving comparable quality to that of the leading brands without paying a premium price.

7.7.5 Pulsador

 深圳市首韩科技有限公司 SHENZHEN SHOUHAN TECHNOLOGY CO.,LTD Tel: 0755-27597601 Fax: 0755-27597491	
<h2>承认书</h2>	
名称规格: _____	
客户料号: _____	
工程部印章 刘小军	客户确认
联络人:	

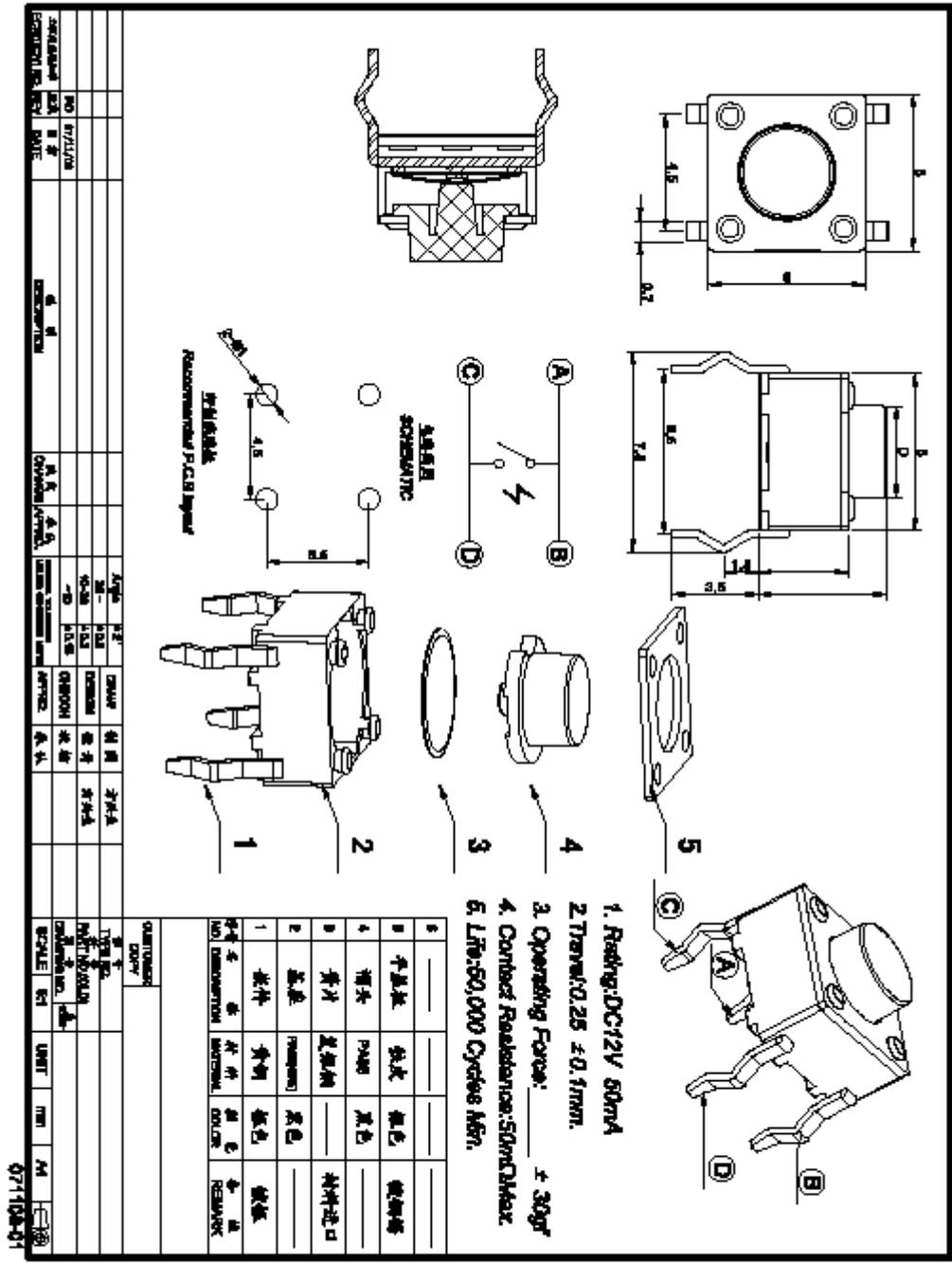
产 品 规 格 书

PRODUCT SPECIFICATION

SIRLES		系列:FLIP SWITCHES(轻触开关)	
MODEL		型号: TS885CJ	
1.RATING		额定值:50Ma 12VDC	
2.CONSTRUTION DIMENSION 结构尺寸		Apply to the appended drawing符合附加图纸	
3.APEARANCE 外观		Have no remarkable damage,crack and rust etc无 明显损伤,裂纹,锈迹等.	
4.CONTACTLOOP 接触回路		Monople loop.单通单极回路	
ITEM 专案		TEST CONDITION 测试条件	SPECIFICATION 规格
5.CAPABILITY OF ELECTRIC 电气性能			
5A	INSULATION RESISTANCE 绝缘电阻	Measurements shall be made following Application of DC500V potential across terminals and across terminals and fuame for 1minute在端子之间和端子与壳之间加 DC500V 条件下,持续 1 分钟测量.	100M Ω min 100 兆欧以上.
5B	WITHSTAND VILTAGE 耐电压	AC250V、50HZ、1 min (imin(interrupting current \leq 500uA). AC250V、50HZ、1 分钟(漏电流 500uA)	There shall be no briakdown 无击穿现象出现。
5C	CONTACT CIRCUIT 接触电路	Addition 1.5-2 time force on the top of the keystrok and press the switch,DC50V100mA在按键顶端上等于作用力 1.5-2 倍的力按动开关,DC50V,10Ma.	100 m Ω Max (100 m Ω 以下).
5D	SWITCH CONNECTION FLASH 开关接触点抖动	Addition DC5V on the two side of switch,at a speed of 3-5time a sec.to press the switch在开关的两端加 DC5V 的电压,以 3-5 次/秒的速度按动开关.	The flash time betwecen open not more than 10ms. 开关在接通和断开时的接点抖动时间不大于 10 ms.
6.MECHANICAL EFFICIENCY 机械性能			
6A	CONTACT STRENGTH 按键强度	The contact shall be capable of a rorce of 5N for 5 seconds in any directions沿开关动作方向可承受静能压力 5N, 保持 5 秒钟.	Switch electric andmechanical efficiency does not break 无损开关电气或者机械性能
6B	CONTACT JOURNEY		按键行程:0.3 \pm 0.1
6C	DRIVE FORCE 驱动力	Being measure at across spring piece and across keystroke forergometer用测力计在按键与弹片之间测量.	Contact switch'sd drive drive fouce was260 \pm 30gf. 按键的开关驱动力为 260 \pm 30gf

产品规格书 PRODUCT SPECIFICATION

6D	CONNECTION STRENGTH 接线端强度	A force of 1N being applying in any directions of the switch connection partt.在接线端的作用方向施加 1N 的力.	Switch mechanical efficiency does not break.无损开关机械性能.
6E	MECHANICAL LIFE 机械寿命	Operatin at a rate of 30-50 cycles a minute. 以 30-50 次/分的驱动速度操作.	Life:50000cycles 寿命 50000 次
7.ENVIRONME NT--RESISTANT EFFICIENCY 耐环境性能			
7A	CHANGE OF TEMPERATURE 温度变化	The first temperature shall be 70℃, 3h and changed to-25℃, 0. 5h, 5cycles of above test. 先 70℃, 3h, 然后-25℃, 0. 5h, 如此重复 5 次.	1. The appearance should not break. 外观应无损伤. 2. Contact resistance $\leq 100 \text{ m } \Omega$ 接触电阻 $\leq 100 \text{ m } \Omega$
7B	HUMIDITY RESISTANT 耐湿热	40 \pm 2℃ in temperature and 90-95%RH, Ruring thetest time without load; After testing the temperature should be 24h. 经 40 \pm 2℃, 相对湿度 90-95%, 试验期间, 开关不动作, 不带电负荷, 试验后恢复到常温 24h.	3. Insulation resistance $\geq 100 \text{ M } \Omega$. 绝缘电阻 $\geq 100 \text{ M } \Omega$
8.JOINTING EFFICIENCY 焊接性能			
8A	SOLDERABILITY 可焊性	Temperature240 \pm 5℃ ;Duration: 3 \pm 0.5S:温度在 240 \pm 5℃, 持续 3 \pm 0.5S.	Solderability part should above 90% 可焊部分被焊料覆盖面应在 90% 以上.
8B	SOLDER--RESISTANT 耐焊剂性	Warm-up temperature: 100C, 40S, 焊锡温度 230 \pm 5℃, 浸焊时间 3 \pm 0.5S.	Froth height of assist solder should under board and switch electric and mechanical efficien- cy does not break.助焊剂发泡不应超过印制板.无损伤开关电气或机械动作性能.
8C	JOINTING--RESISTANT 耐焊接热	Jointing temperature: 240 \pm 5℃ ,Duration of immersion: 5 \pm 1S. 焊锡温度 240 \pm 5℃, 浸焊时间 5 \pm 1S	efficiency does not break 无损伤开关电气或机械动作性能.
8D	NORMAL JOLNTING TIMES 正常焊接次数		≤ 2 times 小于 2 次
9.NOTES			
9A	The whole boxes of switch should keep in the temperature -30--80C and less than 80%RH without acidic, alkalescence, caustic gas in the environment of the storage. 整箱包装的开关, 应在温度为-30--80℃, 相对湿度不大于 80%, 周围的空气中没有酸性、碱性或其他腐蚀性气体的库房内保管.		
9B	Operating Temperature Range:-20 to 70C 操作温度的范围: -20 to 70℃		
9C	Switch should install in a correct method. 开关应按正确的安装方法进行正确安装使用.		



RECOMMENDED P.C.B. layout
4.5mm
SCHEMATIC
RECOMMENDED P.C.B. layout

1. Rating: DC 12V 50mA
2. Throw: 0.25 ± 0.1mm.
3. Operating Force: _____ ± 30gf
4. Contact Resistance: 50mΩMax
6. Life: 50,000 Cycles Min.

NO	ITEM	UNIT	QTY	REMARK
1	壳体	塑料	绿色	铁板
2	触点	铜	黑色	镀锌板
3	弹片	铜	黑色	镀锌板
4	触点	铜	黑色	镀锌板
5	底座	塑料	黑色	镀锌板

NO	ITEM	UNIT	QTY	REMARK
1	壳体	塑料	绿色	铁板
2	触点	铜	黑色	镀锌板
3	弹片	铜	黑色	镀锌板
4	触点	铜	黑色	镀锌板
5	底座	塑料	黑色	镀锌板