



**FACULTAD
DE INGENIERIA**

Universidad de Buenos Aires

CIRCUITOS DE PULSOS - 66.19

Trabajo práctico final

**Diseño e implementación de un circuito digital discreto
Repetidor de controles remotos infrarrojos**

Alumnos:

LUNA Diego

diegorluna@gmail.com

Padrón N° 75451

Docentes:

Ing. FUCHS Jorge H.

Ing. HENTSCHEL Ricardo Gabriel

22 de julio de 2019

Índice

Índice	I
1. Objetivos	1
1.1. Objetivo	1
1.2. Elección del tema del trabajo	1
2. Controles remotos infrarrojos	2
2.0.1. Decodificación	4
2.1. Esquema general de transmisión y recepción	5
3. Diseño circuital	8
4. Implementación del circuito	11
5. Observaciones y conclusiones	13
5.1. Grado de avance	13
5.2. Dificultades encontradas	13
5.3. Resumen de actividades a desarrollar	13
5.4. Puntos por actualizar	14
6. Bibliografía	15
Apéndices	17
A. Hojas de datos	17
A.1. MPSA42/MMBTA42	17
A.2. MPSA92/MMBTA92	17
A.3. MJE340	17
A.4. MJE350	17
A.5. MMPQ6700	18
A.6. 2SC5200	18
A.7. 2SA1943	18
A.8. NE5532	18
A.9. Metal film resistor	18
A.10. Carbon film resistor	19
A.11. Ceramic capacitor	19
A.12. Electrolytic Aluminum capacitor	19

Índice de figuras

2.1. pulse distance modulation.	2
2.2. pulse width modulation.	2
2.3. biphase modulation.	3
2.4. código RC5 extendido.	3
2.5. RC5 structure.	4
2.6. Módulo receptor IR.	5
2.7. Esquema en bloques del circuito de un módulo receptor IR.	5
2.8. Esquema de transmisión y recepción IR.	6
3.1. Circuito receptor.	9
3.2. Circuito transmisor.	10
4.1. Receptor implementado.	12

1. Objetivos

1.1. Objetivo

El objetivo del presente trabajo práctico es el diseño e implementación de un circuito digital discreto. Debería al menos cubrir algunos de los temas vistos en la materia, como ser lógica discreta de alguna de las familias expuestas, circuitos de tiempo, etc.

1.2. Elección del tema del trabajo

La elección o diseño de algún circuito digital, discreto, es decir que no incluya lógica programable, como ser micro-controladores, PAL, FPGA, etc, se hace complicado porque hoy día casi cualquier diseño incluye algo de esto. El circuito elegido se trata de un **repetidor de controles remotos infrarrojos**, el circuito permite mediante dos módulos, uno receptor y uno transmisor, controlar equipos con control remoto infrarrojo, aunque no se tenga línea de visión, por ejemplo si el equipo se encontrase en otra habitación. En la próxima sección se hace una breve explicación del funcionamiento de los controles infrarrojos comerciales para luego explicar el funcionamiento del circuito.

2. Controles remotos infrarrojos

Los controles remotos infrarrojos comerciales en general, se basan todos en el mismo funcionamiento básico, un haz infrarrojo que se genera a partir de **LEDs** infrarrojos (**IREDS**), la frecuencia de la portadora es de alrededor de 40kHz, ya que esta frecuencia es la mas inmune a las fuentes infrarrojas que comúnmente se encuentran en el ambiente, principalmente la luz solar, tubos de luz fluorescente, etc, esta portadora modula un código binario codificado de uno de tres esquemas de codificación, el primero, **pulse distance modulation** ((modulación por distancia de pulsos), como se ve en la figura [2.1], la información es contenida en la distancia entre los pulsos, siendo por ejemplo la distancia corta correspondiente a un 0 y la larga a 1, o viceversa.

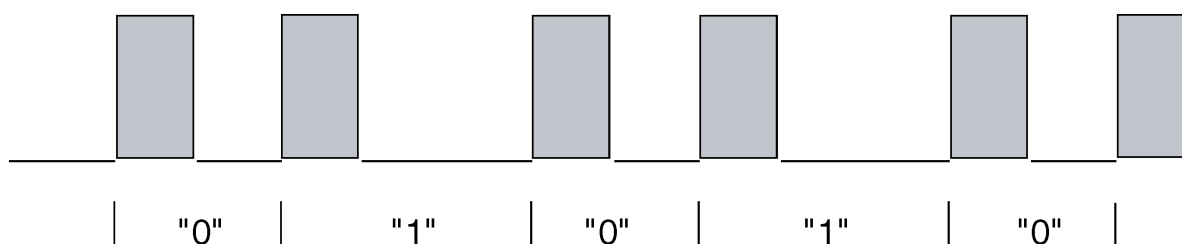


Figura 2.1: pulse distance modulation.

El segundo esquema de modulación corresponde a **pulse width modulation** (modulación por ancho de pulsos), como se ve en la figura [2.2], la información está codificada en el ancho de los pulsos, algo como la inversa del primer esquema.

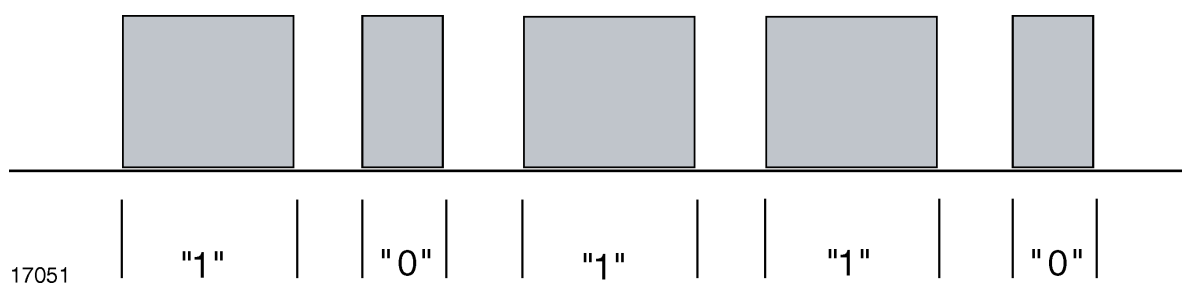


Figura 2.2: pulse width modulation.

El tercer y último esquema de modulación es **biphase modulation** (modulación de fase binaria), como se puede ver en la figura [2.3] la información se encuentra contenida en los cambios de nivel.

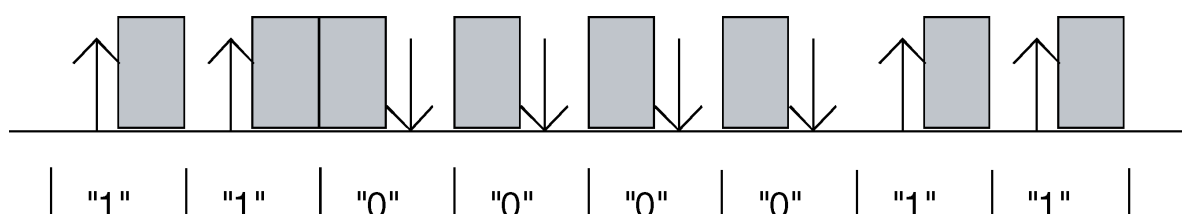


Figura 2.3: biphase modulation.

Estos 3 esquemas de modulación son usados por prácticamente todas las marcas comerciales, destacándose por ejemplo el esquema **RC5** de **Philips**, figura [2.4], es un esquema del tipo **biphase modulation** o el conocido esquema de codificación de **NEC** que es un esquema del tipo **pulse width modulation**, muchas otras marcas y proyectos independientes han adoptado uno de estos dos protocolos, también gran cantidad de proyectos hobbystas eligen uno de estos protocolos por su especificación pública y disponibilidad de código de decodificación de varias fuentes open source.

Protocolo RC5 extended de philips

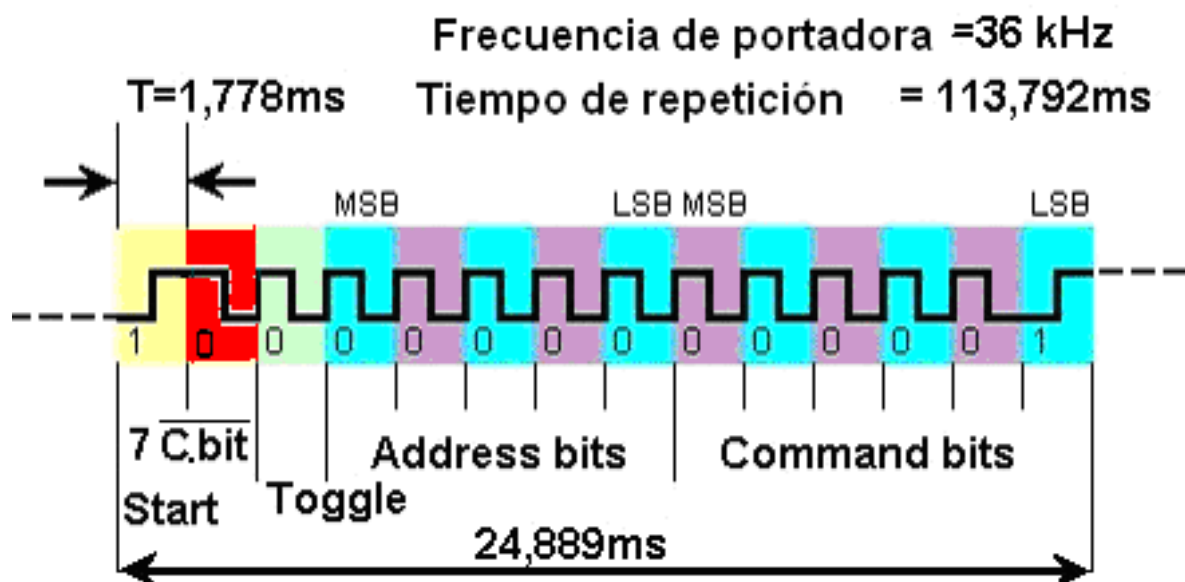


Figura 2.4: código RC5 extendido.

Todos estos protocolos utilizados a veces incluyen algunas variantes como ser, **headers** o **tails**, que se incluyen respectivamente, encabezando o terminando el código propiamente dicho que se repite mientras la tecla del control remoto se mantiene presionada, o la inclusión de un bit que cambia de una transmisión a la siguiente (usado para detectar una transmisión interrumpida de una diferente), pero en cualquier caso el código se encuentra modulado con la misma portadora, y algo importante, se mantiene la distancia temporal

entre los bloques de código, como se puede ver por ejemplo para el caso del código **RC5** en la figura [2.5]. En general la frecuencia de repetición del código es baja, en el orden de la decena de Hz.

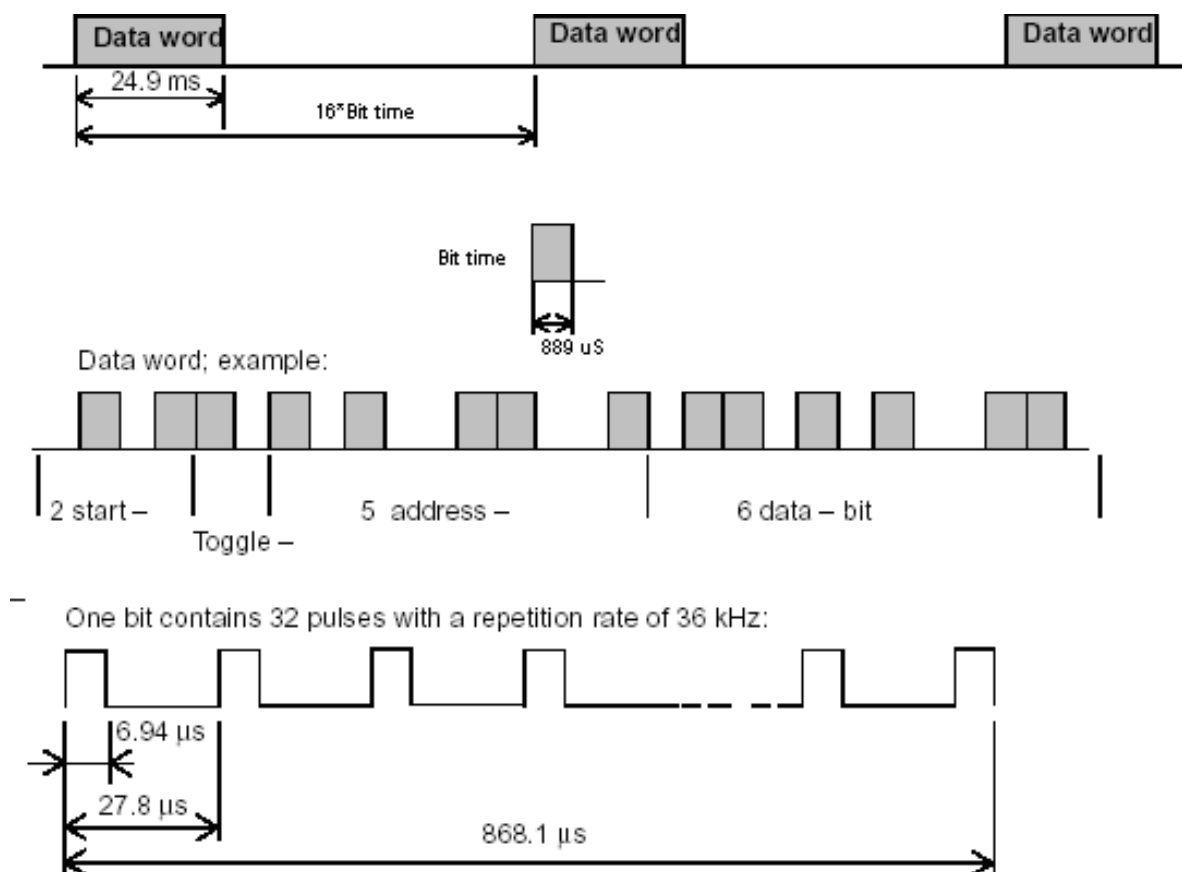


Figura 2.5: RC5 structure.

2.0.1. Decodificación

Como se mencionó anteriormente los controles remotos infrarrojos de uso comercial usan portadoras cercanas a 40kHz, la demodulación necesaria previa a la decodificación que se requiere es la parte mas compleja de la recepción, ya que requiere además de detectar la señal infrarroja (comúnmente realizado con un **foto-diodo infrarrojo**), de amplificación sintonizada, control automático de ganancia, adecuación de la señal, algún tipo de **schmitt trigger** para llevar la señal a valores lógicos, etc, este esquema es tan general que ya fue integrado, de manera que incluso equipamiento comercial, utiliza estos módulos y no circuitos discretos, un ejemplo de estos módulos que se consigue en el mercado local, y que se usó en el proyecto, son los de la familia **IRM86XX**, figura [2.6], donde los dos últimos dígitos identifican la frecuencia central de recepción a la cual está sintonizado ese particular receptor, por ejemplo el **IRM8601** está sintonizado en 36kHz.



Figura 2.6: Módulo receptor IR.

En la figura [2.7] se muestra un esquema en bloques de uno de estos módulos, donde se identifican los bloques anteriormente descriptos para la recepción y demodulación de una señal infrarroja.

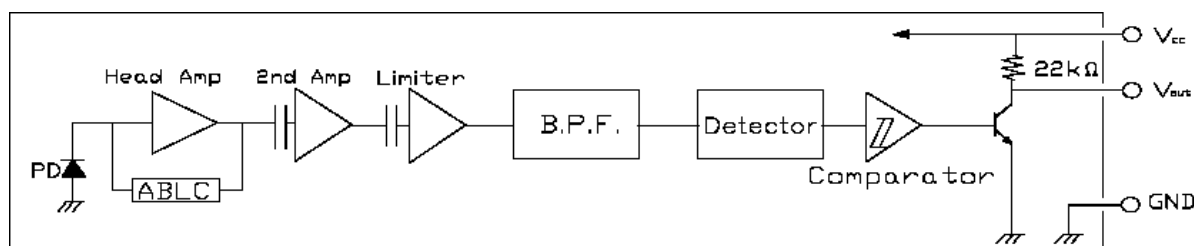


Figura 2.7: Esquema en bloques del circuito de un módulo receptor IR.

En general aunque cada protocolo tiene una frecuencia de portadora específica, la cercanía de las mismas hace que no sea necesario usar un módulo que coincida en forma exacta con la portadora a recibir, solo se tendrá una mayor atenuación al alejarse un poco de la frecuencia central, pero dada la gran sensibilidad de estos módulos, es común tener distancias de recepción en el orden de los 15m, es poco lo que afecta, y de ser necesario para un receptor mas universal podrían utilizarse un conjunto de estos módulos.

2.1. Esquema general de transmisión y recepción

En la figura [2.8] puede verse el esquema general de una transmisión y recepción infrarroja, en el mismo puede verse que con el módulo receptor se recupera el código ya sin modulación por la portadora, lista para ser decodificada, es esta señal la que este proyecto utiliza.

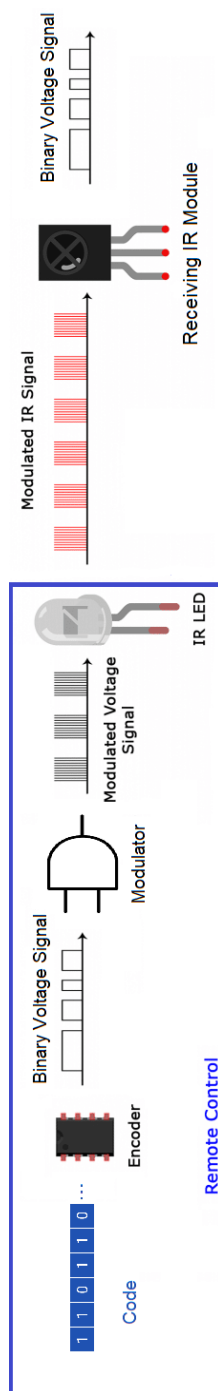


Figura 2.8: Esquema de transmisión y recepción IR.

La idea del circuito es bastante simple, básicamente se aprovecha la señal que genera el módulo infrarrojo para transportar el código recibido para poder volver a transmitirlo, en este caso la transmisión se realiza en banda base (no hay portadora), ya que dada la baja frecuencia de la señal, la misma puede ser transportada si gran degradación simplemente por un cable, pero el concepto se podría ampliar para transportar la señal por radio, un enlace dedicado, **bluetooth**, **zigbee** o algo de mayor alcance como ser **LoRa**.

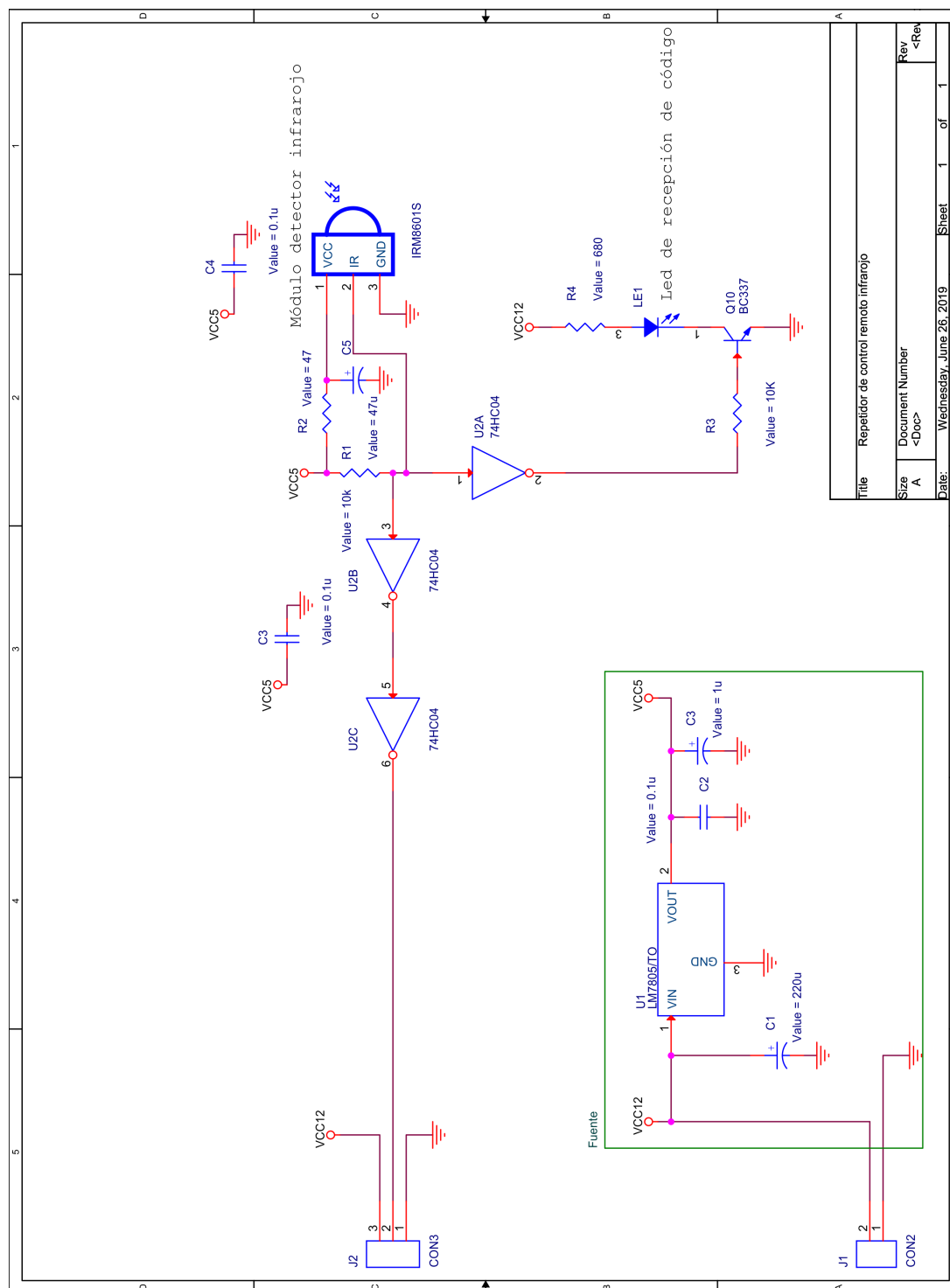
En el presente proyecto se utilizó un cable que puede ser sin problemas de hasta 30m de largo y posiblemente de mayor largo, se aprovechó también el cable para transportar alimentación para la parte transmisora del circuito.

3. Diseño circuital

El circuito está dividido en dos partes, la receptora, figura [3.1], y la transmisora, figura [3.2], la receptora cuenta con un módulo infrarrojo, que es alimentado por un regulador lineal (**LM7805**), que también alimenta el resto del circuito, que está formado por unas compuertas **NAND (74HC04)** usadas simplemente como buffers, para la transmisión por el cable y para activar un LED indicador que es manejado por un BJT (**BC337**).

La señal que se obtiene del módulo receptor está invertida respecto a la enviada, es por lo tanto necesario invertirla nuevamente en la parte transmisora del circuito. La señal que se obtiene es básicamente la misma que se envía a los LED infrarrojos, excepto que le falta la portadora. La portadora es re-generada con un multi-vibrador construido con un temporizador **NE555** configurado en modo astable, el circuito es una versión modificada del circuito típico, que permite una mayor precisión en la frecuencia y un menor ciclo de trabajo, cosa importante por necesitarse pulsos angostos de alta corriente en los LED infrarrojos de transmisión, este circuito utiliza un par de diodos (**1N4148**) y un transistor además de el resistor y capacitor del circuito standard. La frecuencia se ajusta con un preset multi-vuelta de $5k\Omega$ al valor adecuado, 36kHz en este caso.

La modulación se realiza directamente actuando con la señal modulante sobre la entrada **RESET** del **NE555**, dado que la señal está negada respecto de la señal que se desea enviar, habiendo usado una cantidad impar total de negadores en su camino, finalmente la señal producida por el temporizador tiene la fase correcta. La señal modulada resultante se envía a través de un BJT (**BC337**) aun par de diodos infrarrojos, por los mismos circulan pulsos de 0,5A, logrando un gran alcance de la señal infrarroja.





4. Implementación del circuito

El circuito se implementó en **PCB** de desarrollo, de las típicas de islas perforadas de paso 0,1".

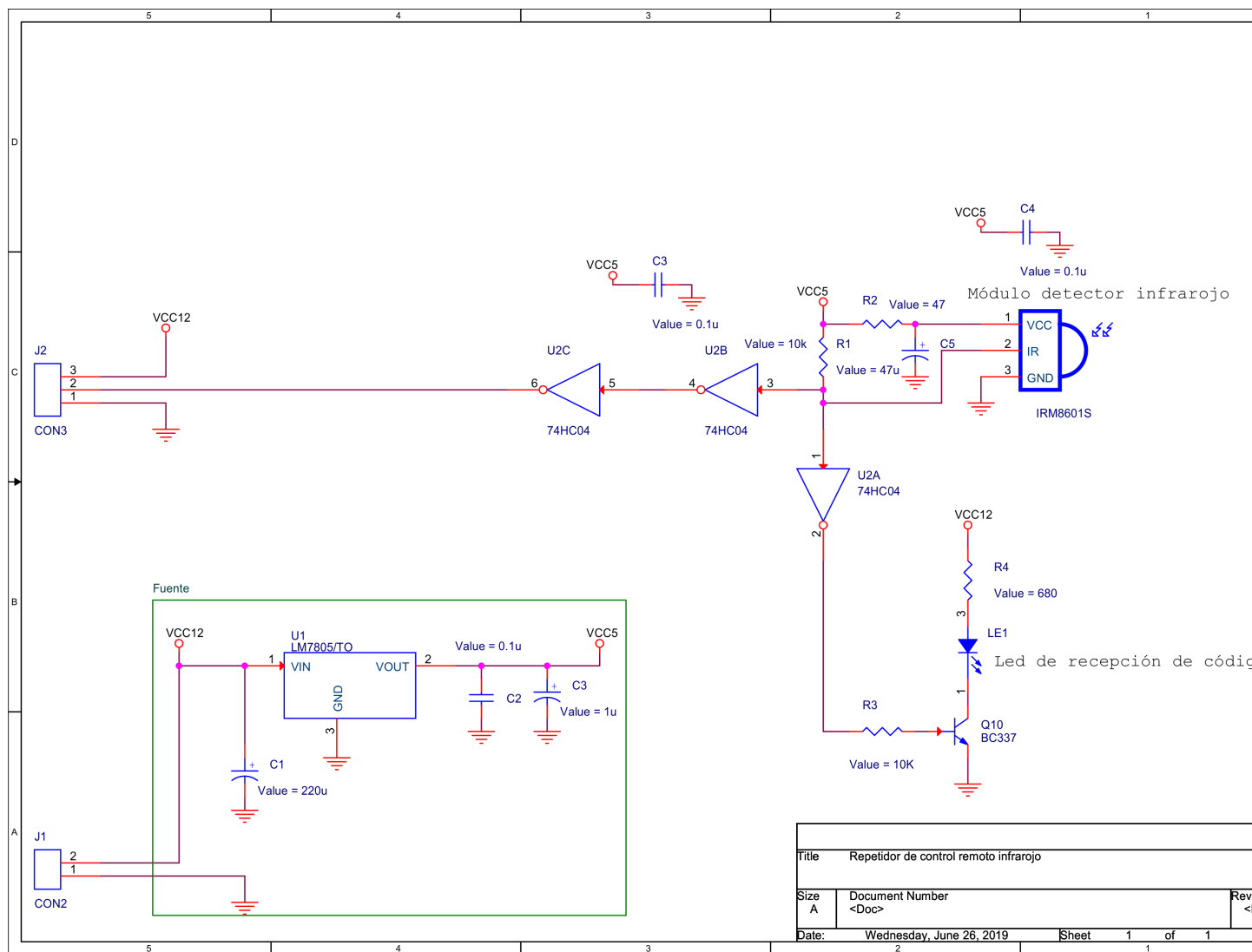


Figura 4.1: Receptor implementado.

5. Observaciones y conclusiones

5.1. Grado de avance

Hasta el momento, hemos elegido las configuraciones de las distintas etapas, realizamos los cálculos para hallar los valores de realimentación, resistencias para el embalamiento térmico y los disipadores para los transistores; realizamos simulaciones del circuito.

5.2. Dificultades encontradas

Para el desarrollo del proyecto, nos encontramos con varios obstáculos. En el primer diseño que realizamos, nos encontramos con una disparidad en las corrientes del par diferencial, que resolvimos comprando transistores de más, midiendo sus parámetros β , y agrupándolos para poder trabajar con valores apareados. Otra solución que encontramos, y que aplicaremos en esta versión del circuito, es utilizar transistores integrados, que asegura que todos los transistores tengan las mismas propiedades, y estén apareados. Esto también equilibraría más las amplificaciones en modo diferencial de los comparadores NPN y PNP.

La simulación de distorsión se hacía con pocos períodos en el LTSpice y, por cuestiones numéricas, eso parece resultar en valores de distorsión mucho menores a los que devuelve simulando con más períodos. Por otra parte, para valores de distorsión pequeños, se requiere un parámetro de paso máximo bastante reducido o el LTSpice sobreestima la distorsión. Se pasó mucho tiempo creyendo que el diseño resultaba en valores satisfactorios o insatisfactorios de distorsión hasta que se descubrió esto.

En un principio, la primera etapa estaba diseñada con cargas activas. Esto simulaba a veces correctamente, pero la polarización de todo el circuito resultaba poco estable e implicó el rediseño de la etapa con resistores.

5.3. Resumen de actividades a desarrollar

Habiendo establecido todo lo anterior, queda ver cómo mejorar el circuito para lograr mejores valores de distorsión. También, implementaremos protecciones que por el momento fueron dejadas afuera porque dificultan llegar a los grados de distorsión deseados. Luego procederemos con el armado del circuito, verificando el correcto funcionamiento de las etapas, durante el armado de la placa, y luego tendremos que revisar que esté andando correctamente, y que cumpla con los parámetros que propusimos. Finalizado esto, procederemos a realizar las mediciones pertinentes.

Una vez hechas las mediciones tenemos pensado agregarle a nuestro amplificador las siguientes mejoras:

- Carcaza protectora
- Integración compatible con los 3 PCB diseñados
- Plug de entrada para audio con carcaza metálica contra ruidos

5.4. Puntos por actualizar

El esquema de disipadores independientes para transistores montados con cables se descartó hace bastante, por un esquema mas confiable de transistores montados en línea sobre el borde del PCB y compartiendo un único disipador, sin embargo por falta de tiempo no se actualizó el cálculo del mismo, de ser necesario se actualizará en una versión posterior de este informe. También pueden haber quedado algunas referencias a iteraciones anteriores del circuito, se intentó constatar la coherencia de todo el informe, pero dada la extensión del mismo y la falta de tiempo algunas cosas pueden haberse pasado por alto.

6. Bibliografía

Referencias

- [1] *Analysis and Design of Analog Integrated Circuits (3rd Edition)*
Author: Paul R. Gray
Author: Robert G. Meyer
Publisher: John Wiley & Sons, Inc.; 3rd Edition (January 15, 1993)
Copyright: © 1993, John Wiley & Sons, Inc.
ISBN 10: 0471574953
Website: [Analysis and Design of Analog Integrated Circuits \(3rd Edition\)](#)
- [2] *Analysis and Design of Analog Integrated Circuits (4th Edition)*
Author: Paul R. Gray
Author: Paul J. Hurst
Author: Stephen H. Lewis
Author: Robert G. Meyer
Publisher: John Wiley & Sons, Inc.; 4th Edition (2001)
Copyright: © 2001, John Wiley & Sons, Inc.
ISBN 10: 0471321680
ISBN 13: 9780471321682
Website: [Analysis and Design of Analog Integrated Circuits \(4th Edition\)](#)
- [3] *Analysis and Design of Analog Integrated Circuits (5th Edition)*
Author: Paul R. Gray
Author: Paul J. Hurst
Author: Stephen H. Lewis
Author: Robert G. Meyer
Publisher: John Wiley & Sons, Inc.; 5th Edition (2009)
Copyright: © 2001, John Wiley & Sons, Inc.
ISBN 10: 0470245999
ISBN 13: 9780470245996
Website: [Analysis and Design of Analog Integrated Circuits \(5th Edition\)](#)

- [4] *Circuitos microelectrónicos (4^{ta} Edición) español*
Author: Adel. S. Sedra
Author: Kenneth C. Smith
Publisher: Oxford, University press; 4^{ta} Edición (2001)
Copyright: © 1999, Oxford, University press México.
Original Copyright: © 1998, 1991, 1987, 1982, Oxford, University press Inc.
ISBN 10: 01951166310
Website: [Circuitos microelectrónicos \(4^{ta} Edición\) español](#)
- [5] *Microelectronic circuits (5th Edition)*
Author: Adel. S. Sedra
Author: Kenneth C. Smith
Publisher: Oxford, University press; 5th Edition (2004)
Copyright: © 2004, 1998, 1991, 1987, 1982, Oxford, University press Inc.
ISBN 10: 0195142527
Website: [Microelectronic circuits \(5th Edition\)](#)
- [6] *AUDIO POWER AMPLIFIER DESIGN HANDBOOK (5th Edition)*
Author: Douglas Self
Publisher: Elsevier Ltd; 5th Edition (2009)
Copyright: © 2009, Douglas Self. Published by Elsevier Ltd. All rights reserved.
ISBN 13: 9780240521626
Website: [AUDIO POWER AMPLIFIER DESIGN HANDBOOK \(5th Edition\)](#)

Apéndices

A. Hojas de datos

A.1. MPSA42/MMBTA42

MPSA42*NPN Bipolar Small Signal Transistor*Manufacturer page: <https://www.onsemi.com/PowerSolutions/product.do?id=MPSA42>Manufacturer Datasheet: <https://www.onsemi.com/pub/Collateral/MPSA42-D.PDF>

A.2. MPSA92/MMBTA92

MPSA92*PNP Bipolar Small Signal Transistor*Manufacturer page: <https://www.onsemi.com/PowerSolutions/product.do?id=MPSA92>Manufacturer Datasheet: <https://www.onsemi.com/pub/Collateral/MPSA92-D.PDF>

A.3. MJE340

MJE340*Medium Power NPN Bipolar Power Transistor*Manufacturer page: <https://www.onsemi.com/PowerSolutions/product.do?id=MJE340>Manufacturer Datasheet: <https://www.onsemi.com/pub/Collateral/MJE340-D.PDF>

A.4. MJE350

MJE350*Medium Power PNP Bipolar Power Transistor*Manufacturer page: <https://www.onsemi.com/PowerSolutions/product.do?id=MJE350>Manufacturer Datasheet: <https://www.onsemi.com/pub/Collateral/MJE350-D.PDF>

A.5. MMPQ6700

TIP41

Quad Complementary Pair Transistor

Manufacturer page: <https://www.onsemi.com/PowerSolutions/product.do?id=MMPQ6700>

Manufacturer Datasheet: <https://www.onsemi.com/pub/Collateral/MMPQ6700-D.PDF>

A.6. 2SC5200

2SC5200

Power transistor for high-speed switching applications

Manufacturer page: [2SC5200](#)

Manufacturer Datasheet: [2SC5200](#)

A.7. 2SA1943

2SA1943

Power transistor for high-speed switching applications

Manufacturer page: [2SA1943](#)

Manufacturer Datasheet: [2SA1943](#)

A.8. NE5532

NE5532

Dual Low-Noise High-Speed Audio Operational Amplifier

Manufacturer page: [NE5532](#)

Manufacturer Datasheet: <http://www.ti.com/lit/gpn/NE5532>

A.9. Metal film resistor

Metal film resistor

Metal film resistor

Manufacturer page: <https://www.vishay.com/resistors-fixed/metal-film/tab/doclibrary/>

A.10. Carbon film resistor

Carbon film resistor

Carbon film resistor

Manufacturer page: <http://www.vishay.com/resistors-fixed/carbon-film/tab/doclibrary/>

A.11. Ceramic capacitor

Ceramic capacitor

Ceramic disk capacitor

Manufacturer page: <https://www.vishay.com/capacitors/ceramic/disc/>

A.12. Electrolytic Aluminum capacitor

Electrolytic capacitor

Electrolytic aluminum capacitor

Manufacturer page: <https://www.vishay.com/capacitors/aluminum/>