



**UNCUYO**  
UNIVERSIDAD  
NACIONAL DE CUYO



# **Transmisor de código Morse por radio AM**

**Proyecto final de la materia**

Presentado por

**Estudiantes de Técnicas y Herramientas Modernas**

en Noviembre 2022

para la carrera de Ingeniería en Mecatrónica

---

# Índice

|          |  |           |
|----------|--|-----------|
| <b>1</b> | <b>Introducción</b>                                | <b>2</b>  |
| <b>2</b> | <b>Emisor y receptor</b>                           | <b>3</b>  |
| 2.1      | Generalidades y ensamble del pixie . . . . .       | 3         |
| 2.2      | Emisor: Telégrafo, Antena y Pixie . . . . .        | 6         |
| 2.3      | Receptor: Panel, Fuente, Antena y Pixie . . . . .  | 8         |
| 2.4      | Modificaciones opcionales para el Pixie . . . . .  | 9         |
| <b>3</b> | <b>Fuente de Alimentación</b>                      | <b>12</b> |
| 3.1      | Generalidades y Elementos Seleccionados . . . . .  | 12        |
| 3.2      | Regulación de Paneles a 9V . . . . .               | 13        |
| 3.3      | Regulación de Corriente Constante . . . . .        | 14        |
| 3.4      | Regulación de Tensión de Carga . . . . .           | 15        |
| 3.5      | Control de Encendido/Apagado de PIXIE . . . . .    | 16        |
| 3.6      | Circuito Completo y Ensayos Realizados . . . . .   | 16        |
| 3.7      | Costos de Producción . . . . .                     | 18        |
| <b>4</b> | <b>Antena.</b>                                     | <b>19</b> |
| 4.1      | Principio de funcionamiento de una antena. . . . . | 19        |
| 4.2      | Magnetic Loop Antenna . . . . .                    | 21        |
| 4.3      | End Fed Half Wave Antenna. . . . .                 | 22        |
| 4.4      | Ensayos con las antenas. . . . .                   | 23        |
| <b>5</b> | <b>Decodificador de Código Morse</b>               | <b>24</b> |
| 5.1      | Lógica de decodificación . . . . .                 | 24        |
| <b>6</b> | <b>Servidor Web</b>                                | <b>26</b> |
| <b>7</b> | <b>Referencias</b>                                 | <b>27</b> |

## 1 Introducción

Este proyecto esta inspirado en el proyecto "Summits on the Air", o según su acrónimo "SOTA", un programa internacional que fomenta la operación de radioaficionados desde las cumbres de las colinas o montañas.

El objetivo de este proyecto es la elaboración de un sistema que permita la interacción en tiempo real entre un emisor y receptor. La transmisión de instrucciones se realiza mediante señales en código morse, siendo el sistema el encargado de llevar a cabo el proceso de enviarlas, codificarlas, recibirlas y decodificarlas.

En relación al proceso, tanto el emisor como el receptor están conformados cada uno por una antena y un transceptor PIXIE. Un transceptor es un dispositivo que cuenta con un transmisor y un receptor que comparten parte de la circuitería o se encuentran dentro de la misma caja. Cuando el transmisor y el receptor no tienen en común partes del circuito electrónico se conoce como transmisor-receptor. El término fue acuñado a principios de la década de 1920.

El transceptor PIXIE es el responsable de la función de emitir y recibir las señales de radio que transmitirán la información codificadas en código morse. Posteriormente, dicha información será decodificada a través de una placa Arduino UNO y mostrada en idioma español en una página web.

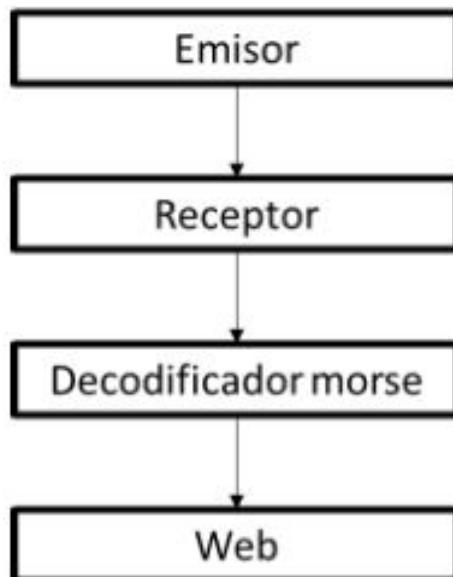


Figure 1: Esquema del proceso

## 2 Emisor y receptor

### 2.1 Generalidades y ensamble del pixie

Se presenta a continuación las características generales del transceptor utilizado en el proyecto, junto con detalles de su conexión, componentes y el esquema de armado final. Primeramente se muestra el diagrama de conexión del Pixie:

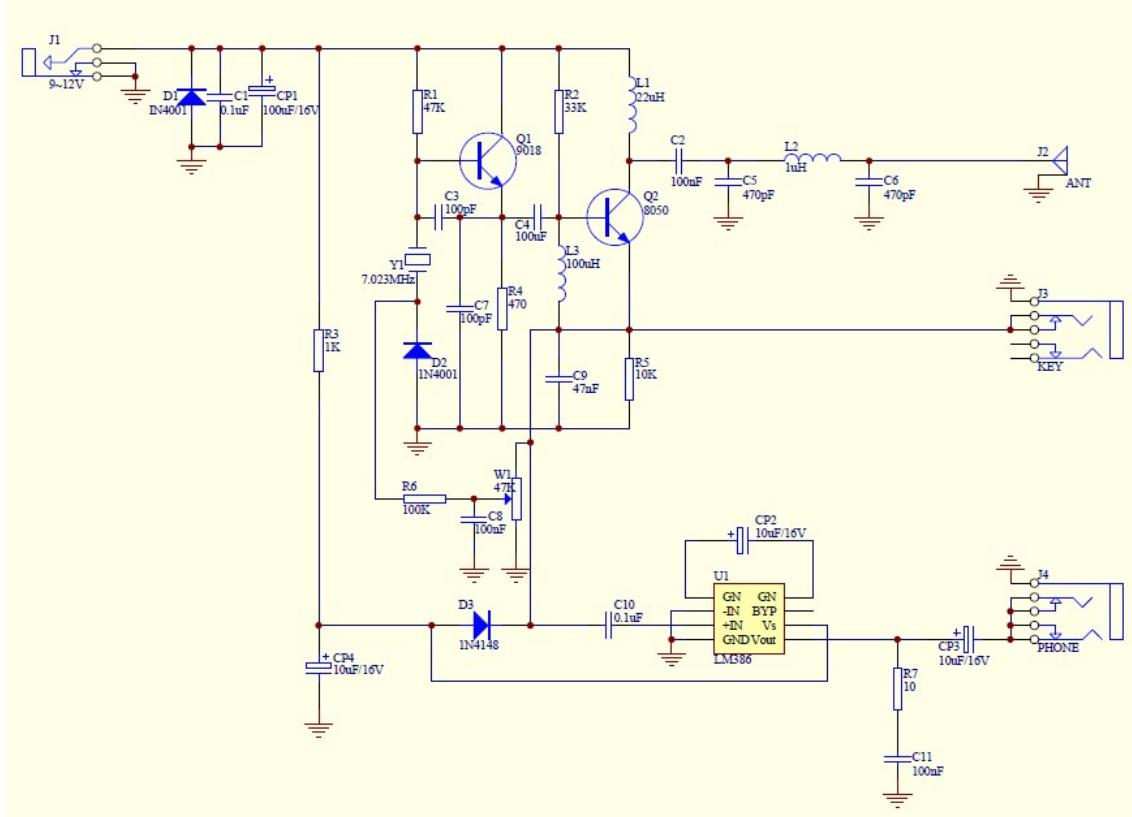


Figure 2: Diagrama de conexión

Posteriormente se procede a describir los componentes del pixie utilizado así como las características técnicas de cada uno de ellos:

#### List of components

| <b>1/4W Resistor</b>                     |                        | <b>Capacitor</b>          |                               |            |
|--|------------------------|---------------------------|-------------------------------|------------|
| R7                                       | 10 ohm                 | C1 C10                    |                               | 0.1uF(104) |
| R4                                       | 470 ohm                | C2 C4 C8 C11              |                               | 10nF(103)  |
| R3                                       | 1K                     | C3 C7                     |                               | 100pF(101) |
| R5 R8                                    | 10K                    | C5 C6                     |                               | 470pF(471) |
| R2                                       | 33K                    | C9                        |                               | 47nF (473) |
| R1                                       | 47K                    | <b>Inductance</b>         |                               |            |
| R6                                       | 100K                   | L1                        | 22uH(Color ring inductance)   |            |
| <b>Electrolytic capacitor</b>            |                        | L2                        | 1uH(Color ring inductance)    |            |
| CP1                                      | 100uF/16V              | L3                        | 100uH (Color ring inductance) |            |
| CP2 CP3 CP4                              | 10uF/16V               | <b>IC</b>                 |                               |            |
| <b>Transistor</b>                        |                        | U1                        | LM386                         |            |
| D1                                       | 2W10(Bridge rectifier) | <b>Crystal oscillator</b> |                               |            |
| D2                                       | 1N4001(Diode)          | Y1                        | 7.023MHz                      |            |
| Q1                                       | 9018(Triode)           | <b>Variable resistor</b>  |                               |            |
| Q2                                       | 8050(Triode)           | W1                        | 47K(473)                      |            |
| D3                                       | 1N4148(Diode)          | <b>Other</b>              |                               |            |
| D4                                       | LED                    | J1                        | DC Jack                       |            |
|  |                        | J2                        | Q9(BNC)                       |            |
| <b>51ohm 1W Resistor(for dummy load)</b> |                        | J3 J4                     | 3.5mm Socket(Key and Phone)   |            |
| <b>PCB * 1</b>                           |                        | J5                        | Pin and Jumper Cap            |            |
| <b>Acrylic case</b>                      |                        | MG                        | Buzzer                        |            |

Figure 3: Lista de componentes

Se procede a describir la ubicación de cada uno de los componentes del pixie:

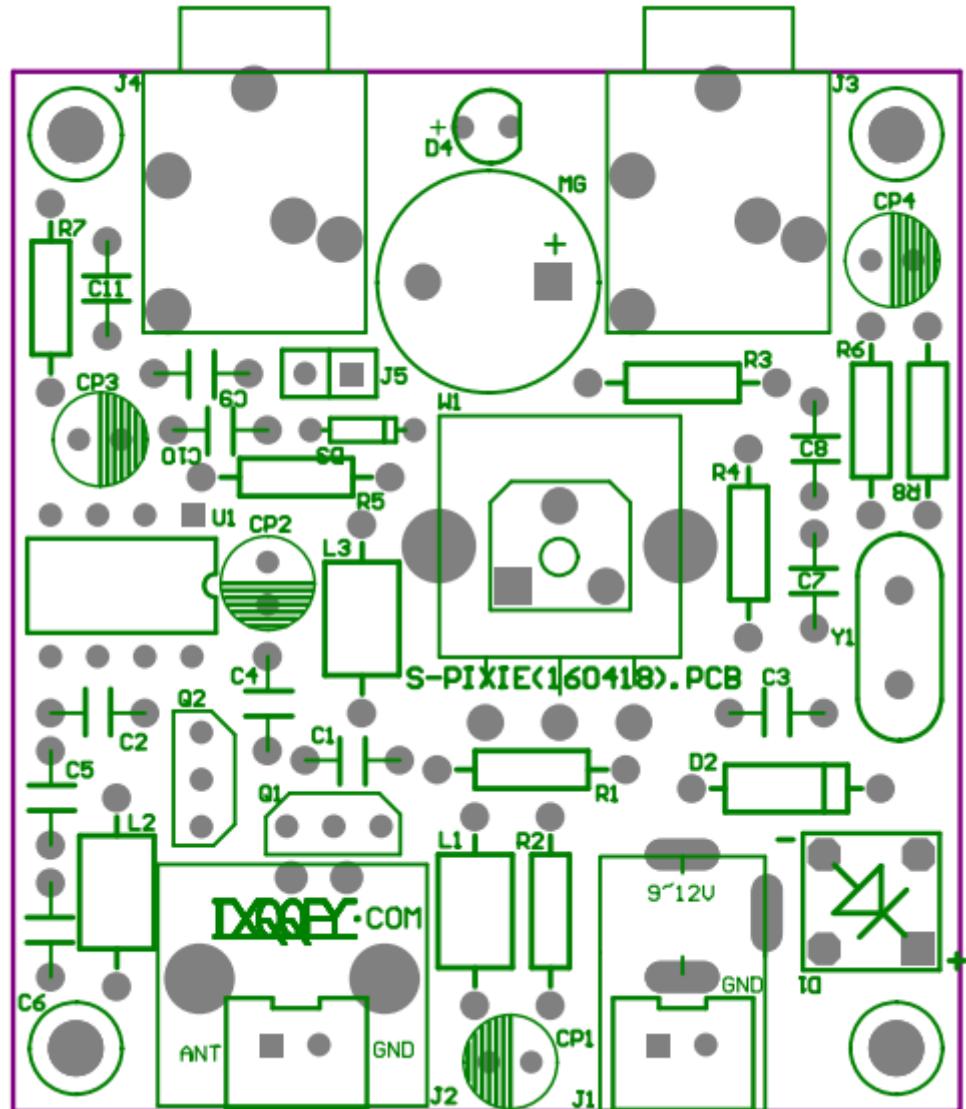


Figure 4: Ubicación de componentes

Finalmente se procede a representar el transceptor armado.



Figure 5: Armado finalizado

## 2.2 Emisor: Telégrafo, Antena y Pixie

Este elemento para su correcto funcionamiento presenta los siguientes componentes: una fuente de señal oscilante, un amplificador, una llave que activa el amplificador y una antena que emite la señal.

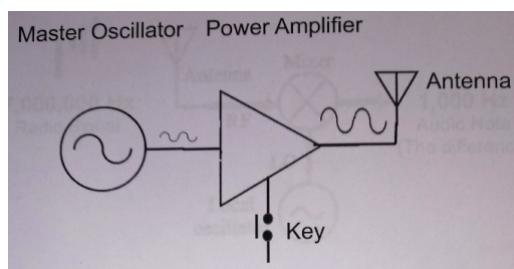


Figure 6: Emisor simplificado

Para comprender como funciona el emisor se procede a explicar el funcionamiento del Pixie. Lo

primero que vamos a explicar es el comportamiento del bus que es controlado por la llave, cuyo esquema se presenta a continuación. Tal que cuando la misma está cerrada se tiene 0 Volts en el bus (puesta a tierra) y cuando esta abierta se presentan aproximadamente 7.75 Volts.

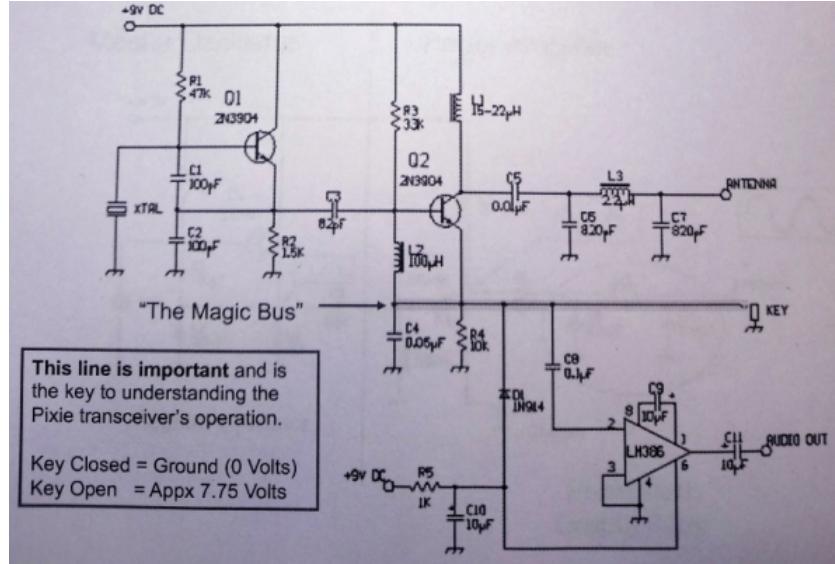


Figure 7: Funcionamiento de la llave

En el caso en que la llave se encuentre cerrada, el suministro del voltaje que alimenta el amplificador de audio es llevado a tierra a través del diodo D1, lo cual provoca el apagado del amplificador. A continuación se presenta el esquema que representa esta situación.

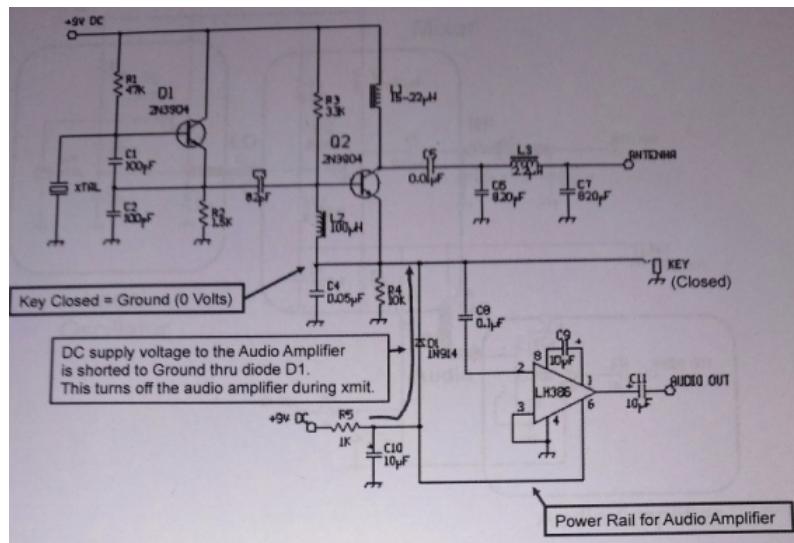


Figure 8: Llave cerrada

Finalmente para concluir la descripción del comportamiento del Pixie como transmisor, se presenta a continuación un esquema donde se separan los componentes que representan a la fuente de la señal y al amplificador.

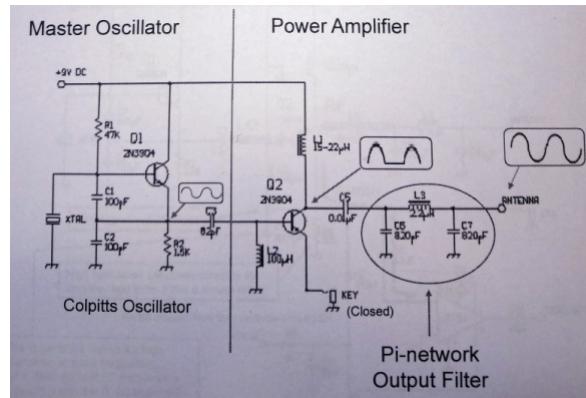


Figure 9: Partes del Pixie emisor

### 2.3 Receptor: Panel, Fuente, Antena y Pixie

De forma muy similar al anterior podemos resumir el funcionamiento de los componentes del receptor de la siguiente forma: La antena recibe la señal de radio a su respectiva frecuencia, luego esta señal entra en un mezclador de señales y finalmente este entrega a su salida una señal cuya frecuencia es la diferencia entre la frecuencia de radio “RF” y la frecuencia de la señal del oscilador local “LO”.

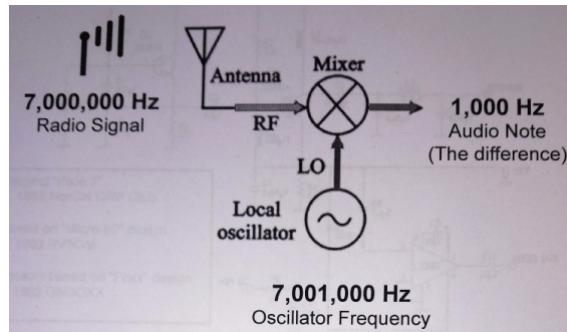


Figure 10: Receptor simplificado

Analizando nuevamente el esquema del Pixie se observa que cuando la llave está abierta en el bus se presentan 7,75 Volts, esto permite que la fuente pueda suministrar energía y encender el amplificador.

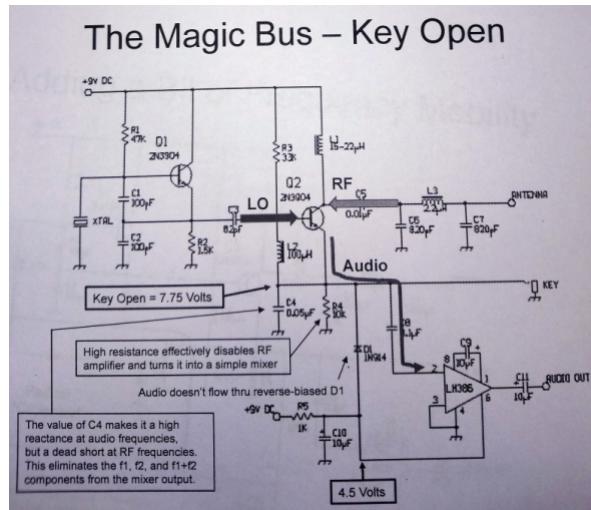


Figure 11: Llave abierta

Cabe destacar que la resistencia alta que presenta “R4” impide amplificar las señales de radio “RF” y lo convierte en un mezclador simple. El valor de “C4” también ofrece una alta reactancia a las frecuencias de audio, permitiendo cortar las frecuencias “RF”.

Finalmente para concluir la descripción del comportamiento del Pixie como receptor, se presenta a continuación un esquema donde se separan los componentes que representan a la fuente de la señal, al amplificador y al mezclador.

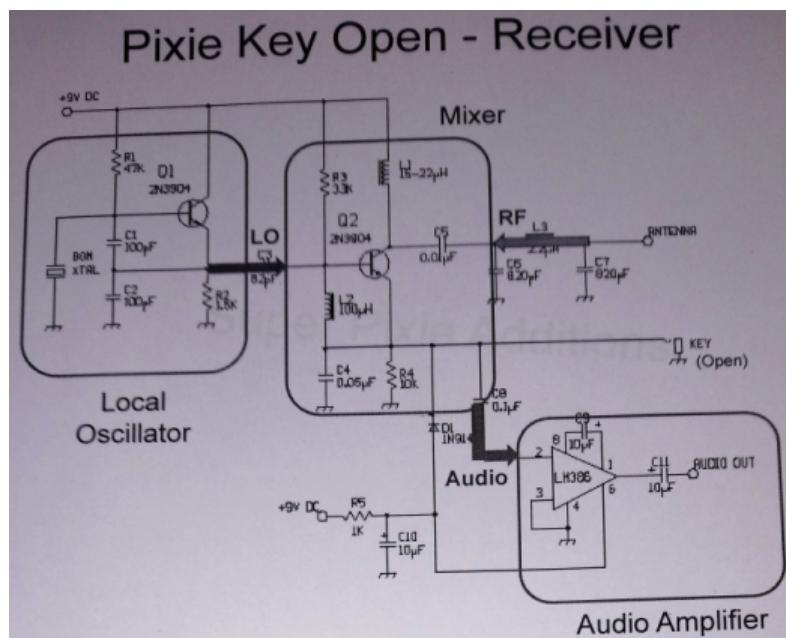


Figure 12: Partes del Pixie receptor

## 2.4 Modificaciones opcionales para el Pixie

Con el objetivo de solucionar algunos problemas obtenidos en los ensayos de comunicación y mejorar algunas características del dispositivo, se evaluaron algunas modificaciones al hardware del Pixie. Si bien no se alteró el dispositivo final, quedan adjuntadas en este informe las alternativas planteadas:

- La primera modificación consiste en la incorporación de un filtro pasa bajo con el objetivo de eliminar ruido ambiente. Notamos en los ensayos a larga distancia que este tipo de ruido destacaba de sobremanera y había que solucionarlo. Si bien este procedimiento sólo sirve para cuando se usan auriculares y no para un dispositivo de audio con alimentación externa, se procede a denotar las modificaciones electrónicas realizadas sobre el dispositivo:

1. Se agrega entonces un inductor de 8.2 mH entre CP3 y R7. Para esto es necesario cortar la conducción entre el capacitor de output CP3 y la resistencia R7. Con realizar un leve corte sobre la superficie del Pixie con una herramienta filosa debería ser suficiente para detener la conducción. Hay que tener cuidado de no realizar un corte que pueda dañar o reducir la robustez de la placa.

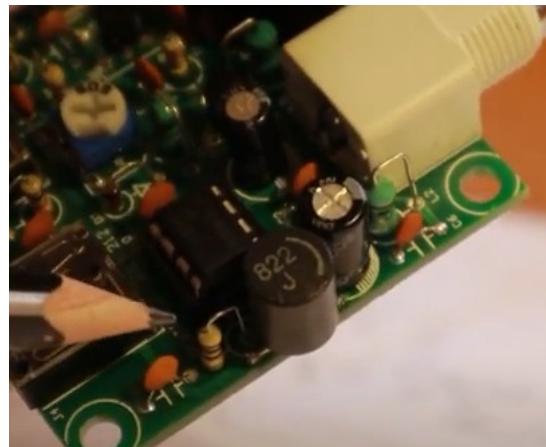


Figure 13: Inductor de 8.2mH agregado

2. Se coloca en paralelo al inductor de 1 uH (L2) un capacitor de 150 pF. Conviene soldar este capacitor del lado opuesto del resto de los componentes debido a la falta de espacio.

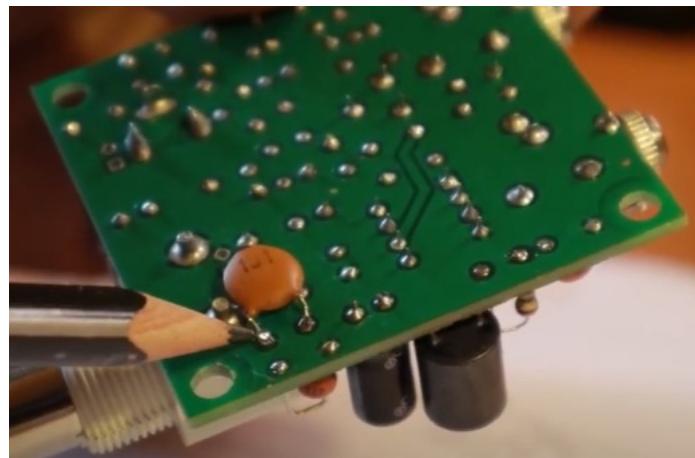


Figure 14: Capacitor ded 150pF agregado

3. Modificamos el valor del capacitor de output CP3 (originalmente de 10 uF) dependiendo del valor del inductor elegido. El inductor puede ir de 1 a 10 mH, de manera que mientras mayor la inductancia, reduce la frecuencia máxima del filtro. Para uno de 8,2 mH deberemos cambiar el capacitor original por uno de 220 uF. Cabe destacar que este filtro no modifica ni la frecuencia ni la potencia de salida del Pixie.

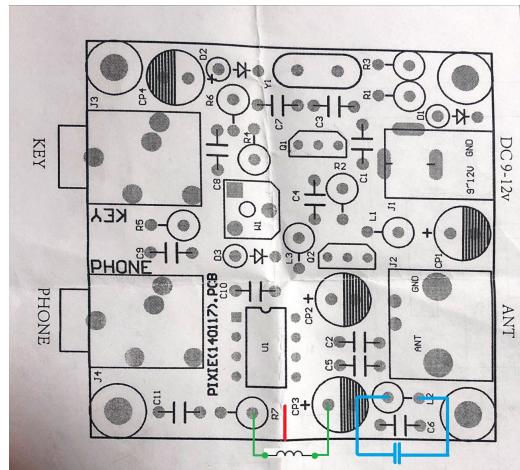


Figure 15: Representación esquemática de las modificaciones mencionadas

- Cambiar los capacitores CP4 de 10 uF a uno de 100 uF y CP1 (ubicado en la entrada de potencia) de 100 uF a 1000 uF. Esto sirve para evitar un zumbido que se produce al conectar el pixie mediante adaptador a fuente. Lo más probable es que no sea estrictamente necesario realizar esta modificación al estar utilizando una alimentación con baterías. No obstante, se consideró esta opción en un principio, por lo que se deja constancia de la misma.
- Cambiar ambos transistores originales por 2 metálicos 2N2222 sumado a la sustitución del capacitor C4 de 10 nF por uno de 100 nF. Estas últimas 2 modificaciones aumentan la potencia del dispositivo a 700 mW. Suponemos que esto nos permitirá mejorar la calidad de la comunicación.

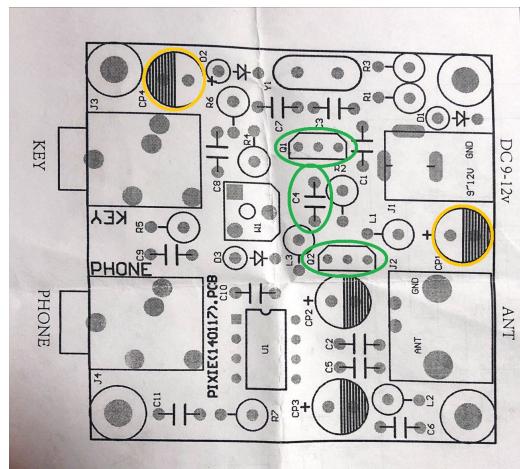


Figure 16: Elementos reemplazados mencionados

### **3 Fuente de Alimentación**

#### **3.1 Generalidades y Elementos Seleccionados**

En este proyecto, se necesitaba alimentar al Arduino UNO, junto con el Shield de Ethernet y el PIXIE que hace de receptor de la señal de radio. Para ello, se estimó su consumo en funcionamiento, y el consumo del Arduino “en reposo” (es decir, solo prendido junto al Shield, apagando el PIXIE):

- Consumo total 500 mA
- Consumo en reposo (Arduino UNO y Shield) 50 mA

La alimentación de todo el circuito se basa en dos Paneles Solares conectados en serie que proporcionan la tensión necesaria para cargar las baterías (2 del tipo 18650) y alimentar al circuito, en simultáneo (de ser necesario). Vemos las características de los Paneles:

- Tensión en vacío (máx): 7.5V
- Tensión Nominal: 6V
- Potencia Nominal: 4W
- Corriente Nominal: 700mA



Figure 17: Paneles

Las baterías, como se menciona anteriormente, son 2 del tipo 18650. De acuerdo con sus especificaciones, y su ciclo de carga específico, para prolongar su ciclo de vida y su capacidad de carga, necesitan ser cargadas primero con corriente constante, y luego con tensión constante, quedando en un estado de “flotación”, una vez alcanzada la tensión máxima. Las características eléctricas de las mismas se detallan a continuación:

- Tensión Nominal 3.7 V
- Tensión Mínima 2.5 V
- Tensión Máxima 4.2V
- Capacidad 2200mAh
- Corriente Máxima 20A
- Corriente de Carga 100 mA



Figure 18: Baterías

Teniendo en cuenta los requerimientos de carga de las baterías, el consumo de la totalidad de módulos y las características de los paneles solares, se optó por realizar una Fuente de Alimentación de Corriente y Tensión Regulada, con alimentación del Sistema Completo en forma paralela. Por simpleza, no se realiza una carga inteligente controlada por el Arduino, ni una carga diferenciada de cada Batería del sistema, en su lugar se diseñó un sistema 100% analógico, que carga las baterías en serie.

Todo el circuito fue Esquematizado en Proteus 8, y se adjuntaran las imágenes con los elementos de medición utilizados durante la simulación del software.

### 3.2 Regulación de Paneles a 9V

La conexión directa entre los Paneles (conectados en Serie) y el Sistema a alimentar (entiéndase, Arduino UNO, Shield Ethernet y PIXIE), solo está interrumpida por un Regulador Lineal 7809 de 9V a su salida. Este, tiene una compensación de nivel de referencia (un diodo 1N4007 conectado en su pata de Referencia) para compensar la caída de tensión del diodo Schottky 1N5822 colocando en su salida, en serie con el circuito. La función de este Schottky es la de prevenir que la salida del regulador de 9V interfiera con las baterías (a explicar a continuación). Así mismo, este diodo tiene una caída de tensión en directo del 0.3V aproximadamente, reduciendo la pérdida de voltaje al mínimo posible.

Este Regulador puede soportar una corriente máxima de 1A, que se estima superior a aquella a necesitar por el Sistema, en un funcionamiento total con todas sus funcionalidades en proceso. Para evitar el sobrecalentamiento del 7809, se le colocó un disipador de calor acorde.

El resto del circuito del regulador es típico, con los capacitores de entrada y salida a modo de filtrado de ruidos. Se muestra el circuito del Regulador, con el diodo a su salida.

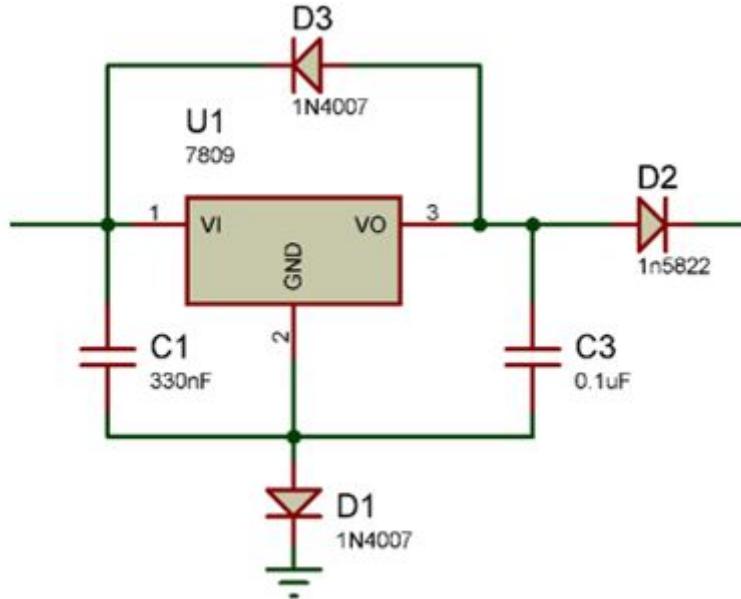


Figure 19: Circuito regulador

### 3.3 Regulación de Corriente Constante

Para la correcta carga de las baterías, se realizó un circuito regulador de corriente, que fija la misma a un máximo de 100mA. Esto permite una carga muy lenta y segura que, a su vez, alarga la vida útil y la capacidad de carga de las 18650.

Para su confección, se utiliza un Transistor de Potencia TIP41, cuya polarización de base está definida por un Diodo Zener de Tensión Regulable. Este elemento es el TL431, cuya tensión de Zener se puede elegir a conveniencia según los valores de Resistencia del circuito planteado. Abajo se muestra el mismo, nótese que la corriente ingresa “por arriba” y sale en serie con el Schottky 1N5822, cuya función es similar a la explicada en la sección anterior.

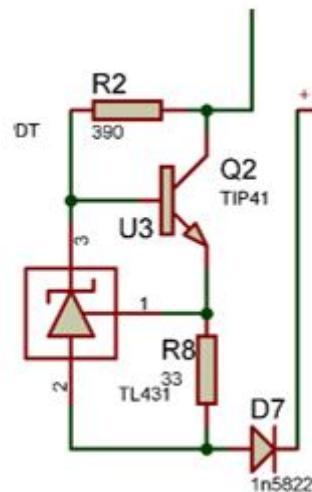


Figure 20: Regulador de corriente constante

El cálculo de las resistencias R2 y R8, sigue las siguientes ecuaciones. Vemos que la corriente

buscada es de 100 mA, la tensión de referencia para este Zener es de 2,5 V, la corriente de paso es de 20 mA y se despeja la resistencia de carga de  $33 \Omega$  1W (valor comercial más próximo).

$$I_0 = \frac{V_{ref}}{R_g} + I_{kA} = 100 \text{ mA} \quad R_c = \frac{2,5 \text{ V}}{0,1 \text{ A} - 0,02 \text{ A}} = 31,25 \Omega (\text{se toma } 33 \Omega)$$

Luego, para el cálculo de  $R_2$ , se utiliza la siguiente ecuación. La ganancia del transistor de potencia (TIP41) es de 30, y se asume una tensión de 9 V para ser conservadores. Con ello, llegamos a 390  $\Omega$  como valor comercial más cercano.

$$R_2 = \frac{V_+}{\frac{I_0}{h_{fe}} + I_{kA}} = \frac{9 \text{ V}}{\frac{0,1 \text{ A}}{30} + 0,02 \text{ A}} = 385 \Omega (\text{se toma } 390 \Omega)$$

El funcionamiento básico, consiste en generar una corriente constante en la Resistencia de 1W y 33  $\Omega$ . Esta corriente genera una caída de tensión, que será entonces la tensión en el emisor del transistor. En caso de aumento de corriente, esta tensión aumenta, disminuyendo la diferencia entre Base y Emisor (recordando que la Base está fijada por el Zener), esto reduce la polarización del TIP41, efectivamente reduciendo la corriente hasta el valor deseado.

### 3.4 Regulación de Tensión de Carga

Las baterías 18650 deben ser cargadas lentamente, y a una tensión máxima de 4.2 V, esto significa que, en serie, la tensión no puede superar 8.4 V. Para ello, se utilizó un regulador lineal configurable LM317, ajustando su tensión de salida a 8.4 V de acuerdo a sus especificaciones en la hoja de datos. A su salida podemos encontrar el tercer Schottky 1N5822 del circuito, cumpliendo la función previamente mencionada, y los respectivos capacitores de filtro en entrada y salida.

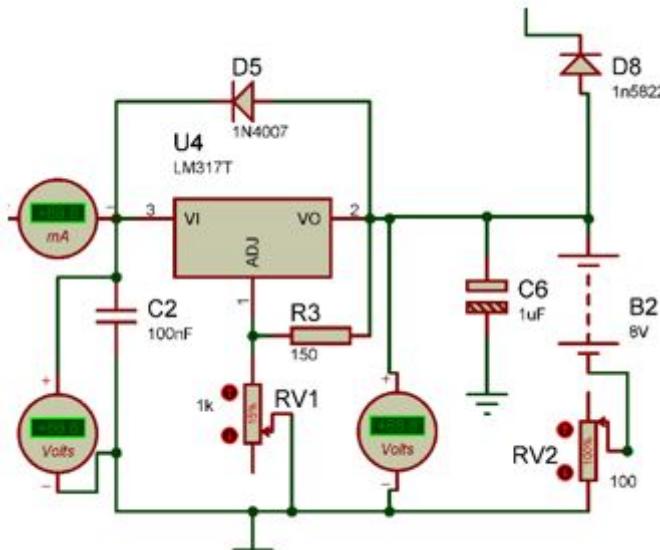


Figure 21: Regulador lineal configurable LM317

La resistencia variable junto con las baterías, simulan el proceso de carga de las mismas, aumentando su resistencia a medida que se acercan a su tensión máxima.

### 3.5 Control de Encendido/Apagado de PIXIE

Debido a la necesidad de apagar o prender los elementos encargados de recibir la onda y emitir el mensaje por Ethernet, en momentos específicos comandados por el Arduino UNO, se realizó un circuito basado en un transistor BJT 2N2222 que abre o cierra un MOSFET CANAL-P IRF9540 (colocado “al revés”), de manera que la corriente fluya de Source a Drain, del transistor.

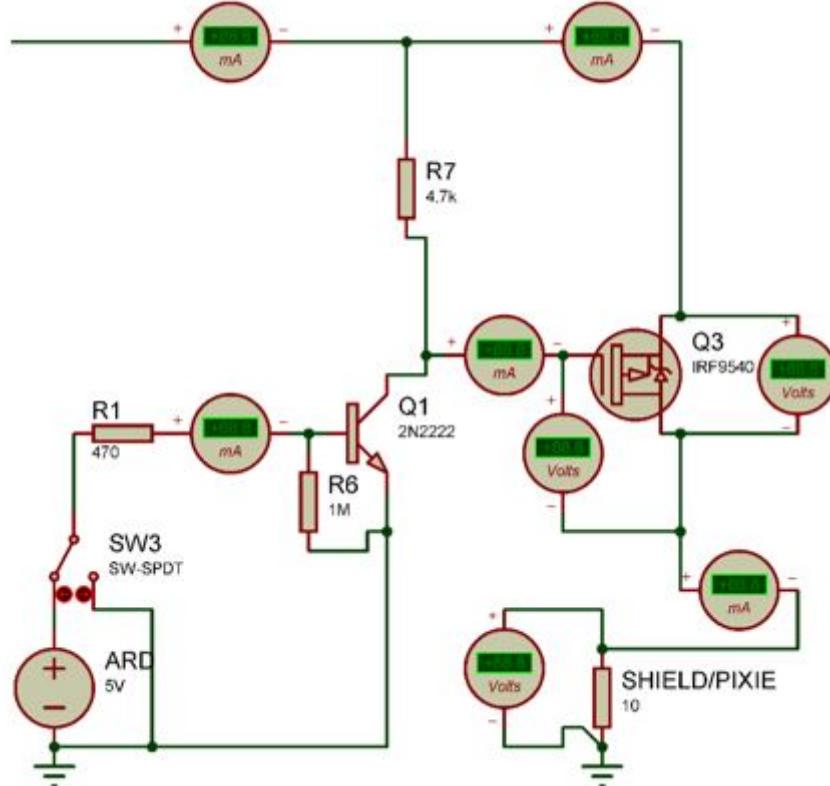


Figure 22: Control de encendido/apagado

Esta configuración se justifica en dos partes. Por un lado, es necesario un elemento semiconductor capaz de abrir o cerrar un circuito, pero que a su vez genere una caída de tensión mínima al estar en conducción, este es el trabajo perfecto para un MOSFET. Se seleccionó uno de canal P colocado como se mencionó, para que el Arduino y los módulos compartieran la referencia a Masa (0 V), ya que esta referencia es importante al generar señales PWM con el Arduino UNO. Por último, este transistor en específico se seleccionó por ser del tipo TTL (Transistor to Transistor Logic), es decir, que es posible controlar su Compuerta con tensiones de 5V, que son las utilizadas por este microcontrolador. Finalmente, el uso del 2N2222 sirve a los efectos de disminuir la corriente necesaria que debe entregar el Arduino en su Pin de salida, para habilitar la alimentación del PIXIE. En el circuito mostrado, es simulado con una resistencia de  $10\Omega$ .

### 3.6 Circuito Completo y Ensayos Realizados

Se muestra a continuación, el circuito completo diseñado y ensañado en Proteus 8.

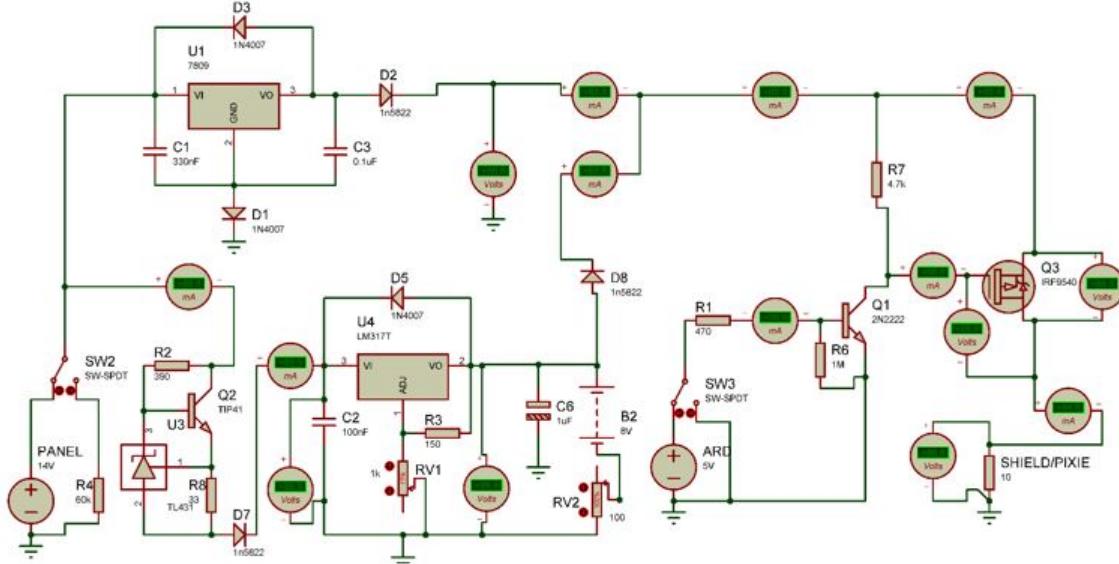


Figure 23: Circuito completo

Luego de realizar simulación de software exitosas, se pasó a comprobar su funcionamiento, con un circuito de prueba en una Protoboard. El ensayo completo puede verse en el video adjunto, llamado “Prueba de Fuente con Paneles”. En el mismo se ven los niveles de tensión y corriente entregados por los Paneles, y el funcionamiento del Encendido y Apagado de los módulos, simulado con un LED. En la foto de la izquierda vemos la corriente de 74.8 mA, con un máximo de 300 mA medido, entregado por los paneles. En la imagen de la derecha, se ve el proceso de medición de la tensión en carga.

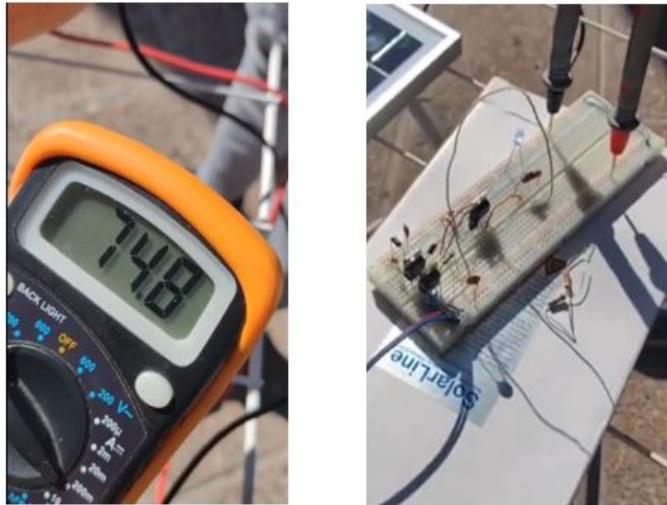


Figure 24: Medición de corriente y tensión durante el ensayo

De acuerdo a los ensayos, la corriente regulada nunca supera los 100 mA, la Tensión máxima medida en los Paneles fue de 15 V en vacío, y alrededor de 13,9 V en carga. Las tensiones de 9V y 8.4V de sus reguladores respectivos, fueron también comprobadas durante los ensayos. Finalmente, se muestra el circuito terminado, ensamblado y unido al porta-baterías, listo para ser colocado en el gabinete general del sistema.

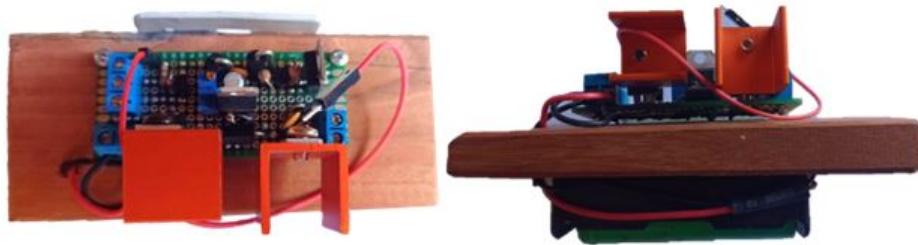


Figure 25: Circuito ensamblado

### 3.7 Costos de Producción

Si consideramos un cambio de Peso Argentino , a Dólar Estadounidense de U\$D==\\$ 300 (Dolarizado a noviembre de 2022), tenderemos un costo total de \$28500 == U\$D 300. Este precio incluye los paneles, toda la electrónica, los elementos de impresión 3D y los elementos de hardware auxiliares (tornillos, arandelas, etc.). Además, incluye el costo de hora-hombre de diseño y ensamblaje.

A continuación se especifican los costos materiales, de diseño y producción

#### **Paneles Solares:**

*Costo unitario: \$ 1750*

*Costo Total: \$ 3500*

#### **Bisagras Impresas de Diseño Propio:**

*Impresión 3D: 2hs \$ 200*

*Horas de diseño: 2hs*

*Tornillos, tuercas y arandelas: \$ 200*

*Costo hora-hombre: \$ 1000*

*Costo Materiales: \$ 400*

*Costo Total: \$2 400*

#### **Fuente de Alimentación:**

*Valor de componentes: \$ 2600*

*Horas diseño de electrónica: 15hs*

*Costo hora-hombre: \$ 1000*

*Horas confección de electrónica: 5hs*

*Costo Materiales: \$ 2600*

*Costo Total: \$ 22600*

## 4 Antena.

Este grupo se encargará de amplificar la señal del PIXIE emisor y facilitar la recepción de las señales de radio del PIXIE receptor a partir de la construcción de una antena para cada uno. Para esto usaremos antenas de tipo End Fed Half Wave (EFHW), caracterizada por su simple diseño. Los materiales a usar son: Un núcleo de ferrita, un capacitor de  $100\mu\text{F}$  y un cable de una determinada longitud (de tal manera que se pueda emitir y recibir una señal de 7MHz o 14MHz), que será la antena en sí.

### 4.1 Principio de funcionamiento de una antena.

Las antenas reciben una señal eléctrica analógica para emitir una onda electromagnética, o reciben una onda electromagnética para dar una cierta señal eléctrica analógica. Para poder emitir información es necesario que la onda electromagnética de la antena se pueda propagar.

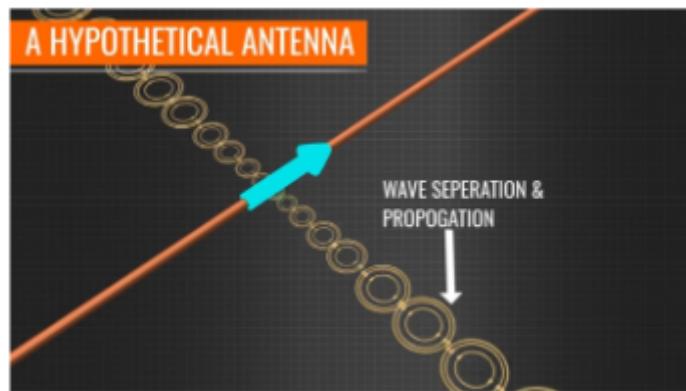


Figure 26: Antena hipotética.

Si queremos lograr este efecto podemos evaluar el caso teórico de un dipolo eléctrico desplazándose en el espacio como en el próximo ejemplo, en el que ambas partículas con carga se mueven en sentidos opuestos en una línea vertical:

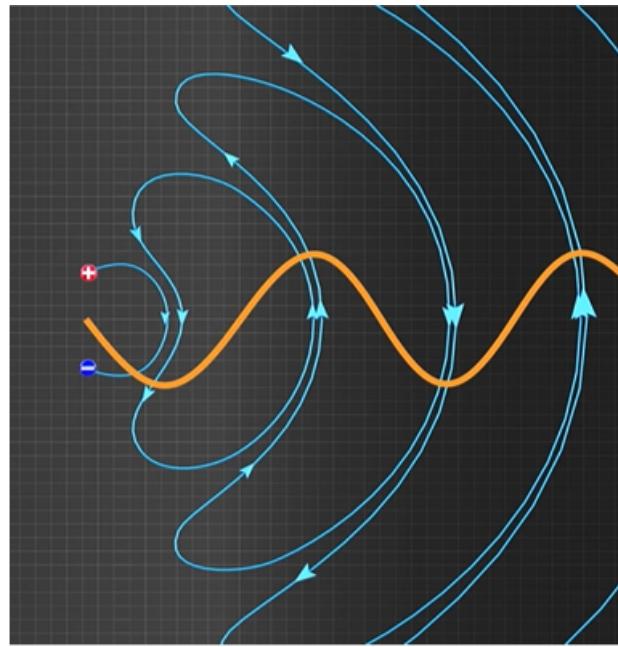


Figure 27: Dipolo eléctrico desplazándose.

El campo eléctrico es de variación sinusoidal y el campo magnético será tal que se propagará perpendicularmente al eléctrico con una longitud de onda igual a dos veces la distancia máxima que alcanzan las partículas entre sí. Sabiendo que la velocidad de propagación del campo es la de la luz, podemos calcular la frecuencia.

El mismo efecto se puede lograr con un conductor doblado por el centro de tal manera que esté conectado a una fuente de tensión alterna sinusoidal. Los portadores de carga se desplazan de un extremo al otro del cable dependiendo de la polaridad de la tensión. Si todos los electrones se desplazan al lado izquierdo del cable, el lado derecho quedará con una carga neta positiva.

Para esta antena la frecuencia de la onda transmitida será la misma que la frecuencia de variación de la tensión sinusoidal aplicada, por lo que se puede calcular fácilmente la longitud de onda. Para una transmisión “perfecta”, la longitud de la antena debe ser la mitad de la longitud de onda.

La misma antena simple puede usarse para la recepción de una onda electromagnética, de tal manera que su voltaje de salida será sinusoidal y con igual frecuencia que la de la onda.

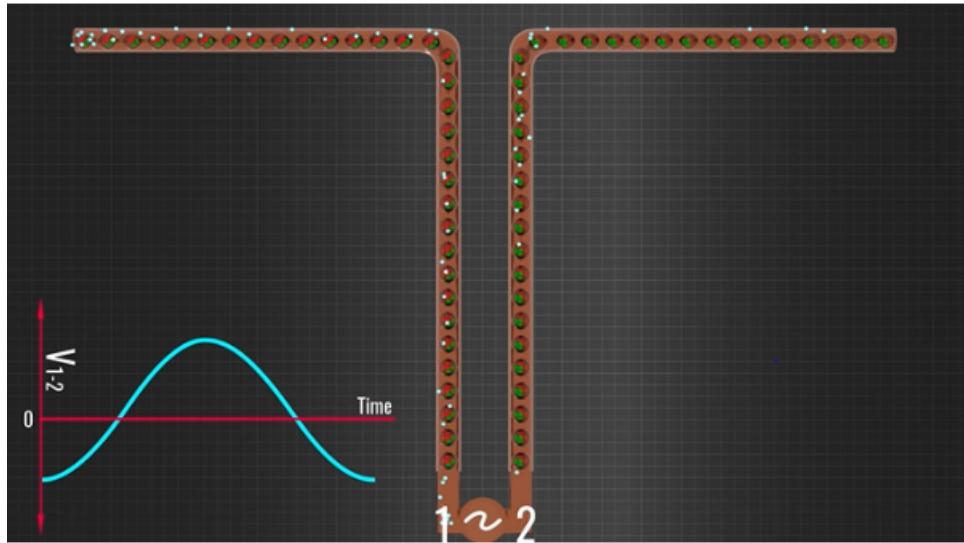


Figure 28: Modelo original de una antena.

## 4.2 Magnetic Loop Antenna

Hay varios tipos de antena de construcción en “ciclo”. En nuestro caso usaremos una antena circular de ciclo eléctrico grande (electrically large loop). Se caracteriza por bloquear las señales que actúan en el plano que contiene al ciclo y tener una mayor intensidad de campo electromagnético en la dirección del eje del ciclo. Entonces se dice que la antena en cuestión tiene alta direccionalidad. Algunas desventajas para éste tipo de antena son:

- Mala adaptación de impedancias: causa pérdidas de potencia entre emisor y receptor.
- Alto factor de calidad de resonancia: hace difícil entrar en resonancia (implica un ancho de banda pequeño).

A pesar de que para éste proyecto en específico utilizaremos antenas del tipo EFHW, para varios ensayos antes de lograr la finalización del proyecto hemos usado la antena descrita.



Figure 29: Magnetic Loop Antenna vista en clase.

### 4.3 End Fed Half Wave Antenna.

Éste es el tipo de antena que usaremos en nuestro proyecto. En nuestro caso la longitud de la antena es de la mitad de la longitud de onda que queremos y usaremos un transformador de acoplamiento de flujo, por su alta relación de transformación, como adaptador de impedancia pasivo y por la distribución de la impedancia a lo largo del conductor. De esta manera podemos tratar nuestra antena como el tipo de antena teórica tradicional vista anteriormente.

El capacitor de  $100\mu\text{F}$  conectado al primario del transformador tiene el propósito de mantener un bajo SWR (standing wave ratio), que es una medida de la concordancia entre las impedancias del emisor y receptor y de la cantidad de potencia que se pierde cuando la onda se refleja al transmisor. SWR es definido como el cociente entre el voltaje máximo de una onda estática (dada por la suma de la onda “total” a transmitir y la onda reflejada) y su voltaje mínimo. En un caso ideal, SWR es igual a uno, el receptor no tiene reactancia alguna y su resistencia es igual a la impedancia del transmisor. Entonces éste utiliza toda la potencia recibida, no hay onda estacionaria en el emisor y no hay reflexión de la onda.

Volviendo a nuestro caso, la corriente en el punto de alimentación al extremo de la antena es mínima y, por lo tanto, la impedancia y la tensión son máximas. Lo mismo sucede al extremo opuesto de la antena. En la mitad de la antena la corriente es máxima y la tensión e impedancia mínimas.

La longitud de la antena puede ser aleatoria, pero contamos con dos antenas EFHW de 22m. Por lo tanto están diseñadas para transmitir y recibir señales de 7MHz.

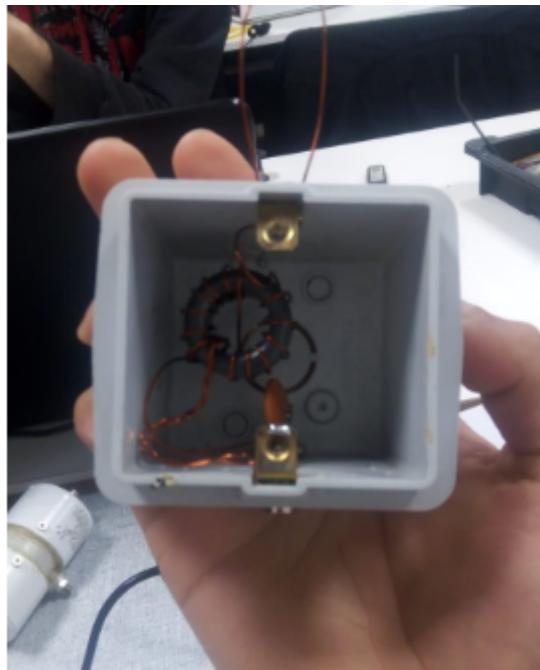


Figure 30: Transformador con relación de impedancias 1:49.

#### 4.4 Ensayos con las antenas.

El objetivo del ensayo fue comprobar el correcto funcionamiento de la antena construida por los alumnos y de los PIXIES.

Primero hicimos una prueba de corta distancia para probar la transmisión de una señal en código morse de un PIXIE a otro. Usamos simuladores de antena para replicar simplemente la impedancia de las antenas para los PIXIES. El PIXIE emisor se conectó además a una placa con un interruptor que al cerrarse y abrirse puede utilizarse para enviar una señal en código morse. Esta prueba fue hecha a una corta distancia de alrededor de un centímetro y se pudo apreciar la correcta transmisión de la información de un PIXIE a otro.

Posteriormente se conectó el PIXIE emisor a una antena de tipo EFHW y al receptor a la Magnetic Loop mostrada anteriormente. Se probó la correcta transmisión en rangos de 10, 50 y 200 metros. La señal del PIXIE emisor fue recibida correctamente por el PIXIE receptor. Sin embargo, la transmisión no fue muy fuerte en el último ensayo.

En el último ensayo realizado se intentó establecer comunicación con la antena EFHW desde el Parque San Martín hasta Maipú. Éste último ensayo fracasó debido al ruido de otras señales de radio. Estimamos que el fallo de éste ensayo se debe a la utilización de una antena con un largo de alrededor de treinta metros, en vez de los veinte con los que trabajaríamos para ondas de 7MHz de frecuencia.

## 5 Decodificador de Código Morse

Para poder realizar la decodificación de los mensajes en código Morse que llegan al PIXIE receptor, se utilizó un Arduino UNO junto con un circuito de desviación de señales (Signal Biasing Circuit). Este último simplemente toma la señal de audio que sale del PIXIE receptor, y la desplazan en magnitud. El objetivo de este circuito es poder tener información acerca de la parte negativa de la señal eléctrica de sonido que sale del PIXIE, ya que si se conectara directamente a una entrada del Arduino, esta sería descartada por el mismo.

El circuito de desviación de señales es muy simple, solamente requerimos de dos resistores (10 kOhms) y un capacitor cerámico de 100 nF. A continuación se muestra el circuito esquemático.

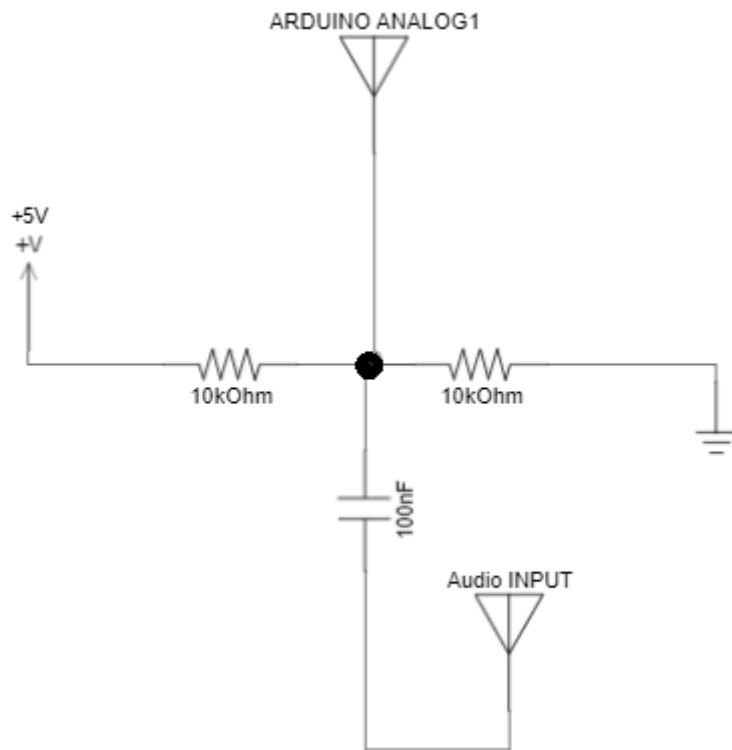


Figure 31: Circuito Esquemático - Signal Biasing Circuit

Podemos observar que este circuito es relativamente similar a un divisor de tensión, con la adición de un capacitor que permite desacoplar la señal de baja frecuencia. Con este circuito, la entrada de audio pasa de ser una señal analógica centrada en 0V a ser una señal analógica centrada en +2,5V, de esta forma al llegar la señal de audio de 5V de amplitud (-2,5; +2,5)V, el cero de la misma se desplaza a +2,5V, con lo cual los valores negativos se desplazan a 0V.

A principios del desarrollo del proyecto, en vez de este circuito de desviación, se había planteado construir un Detector de Cruces por Cero empleando dos optoacopladores, sin embargo, tanto el circuito como la lógica de programación en Arduino eran más complicadas, por lo que se terminó optando por esta otra solución mencionada anteriormente.

### 5.1 Lógica de decodificación

En cuanto a la lógica de decodificación de las señales de audio entrantes en el Arduino, primero que nada tuvimos que implementar un algoritmo que permita detectar los tonos de dicha señal.

En este sentido, se utilizó el Algoritmo de Goertzel. Este algoritmo, con muy pocos requerimientos computacionales, puede detectar un pequeño rango de frecuencias en una señal de entrada.

El algoritmo de Goertzel nos permite hallar las componentes reales e imaginarias de la respuesta en el dominio de la frecuencia, tal como lo hace la Transformada Directa de Fourier. En efecto, El algoritmo Goertzel es un filtro digital derivado de la transformada discreta de Fourier (DFT) que puede detectar las componentes de frecuencia específica en una señal, sin analizar todo el espectro, resultando en un menor tiempo de ejecución.

Algunos parámetros que se deben seleccionar previamente para la utilización del algoritmo son:

- **Frecuencia de muestreo ( $f_m$ ):** En nuestro caso, para un microprocesador de 16MHz, la frecuencia de muestreo es de 8928.0 Hz (sin ningún prescaler).
- **Tamaño del bloque ( $N$ ):** Es similar a un "número de puntos" en el dominio de la frecuencia que se desean analizar. Este parámetro controla la resolución de frecuencia, por ejemplo, si la frecuencia de muestreo es de 8000Hz y  $N = 100$ , entonces la resolución de frecuencia es de 80Hz. De esta forma, resulta conveniente establecer N lo más alto posible, sin embargo, a medida que aumentamos N también aumenta el tiempo de cálculo del algoritmo, por lo que la respuesta a las señales se vuelve más lenta. En nuestro caso, establecimos que  $N = 48$ .
- **Frecuencia buscada ( $f_b$ ):** En nuestro caso, representa la frecuencia del sonido (20-20.000 Hz). A efectos del algoritmo, la frecuencia objetivo debe ser un múltiplo entero de  $f_m/N$ , por lo que se determinó experimentalmente que una frecuencia objetivo de 558 Hz daba los mejores resultados.

Con estos parámetros, y realizando algunos cálculos, podemos obtener la magnitud en el espectro de la frecuencia de los diferentes armónicos. Luego, podemos comparar esta magnitud con valores de referencia establecidos previamente para detectar así la presencia de tonos en la señal de entrada y así, dependiendo de la duración de dichos tonos, asignarles el valor de "raya" o "punto" correspondiente al código Morse, o comenzamos una nueva letra en el caso de que el tiempo sin que se haya recibido otro tono sea suficientemente elevado.

Por otro lado, puesto que las señales con las que estamos trabajando contienen gran cantidad de ruido, se implementó en la lógica de programación un "Noise Debouncer", similar a los que se implementan cuando trabajamos con circuitos que poseen pulsadores. De forma general, este algoritmo simplemente revisa dos veces el estado de la señal en un corto periodo de tiempo (6ms en nuestro caso) para asegurarse realmente de cuál es el estado de la señal. Sin este algoritmo, los cambios rápidos en la señal de entrada pueden provocar que se lean incorrectamente caracteres en la señal de entrada.

Como mencionamos anteriormente, cuando pasa suficientemente tiempo sin que se reciban nuevos caracteres (picos o tonos en la señal de entrada), se decodifica la letra (sucesión de caracteres en código Morse) y luego se empieza con otra letra. Para asignar la sucesión de caracteres en código Morse a una letra, simplemente se compara la secuencia obtenida con otras que están presentes en un diccionario y que, a su vez, están ligadas a cada letra del abecedario.

## 6 Servidor Web

Otra forma de comunicación con el Receptor es mediante un servidor web a través del cual se puede acceder a los mensajes recibidos en otra computadora. Esto es posible gracias al uso de un "shield", una placa de expansión para la placa experimental Arduino Uno 32. Esta provee un puerto RJ-45 y controladores para la conexión de la placa a una red Ethernet.

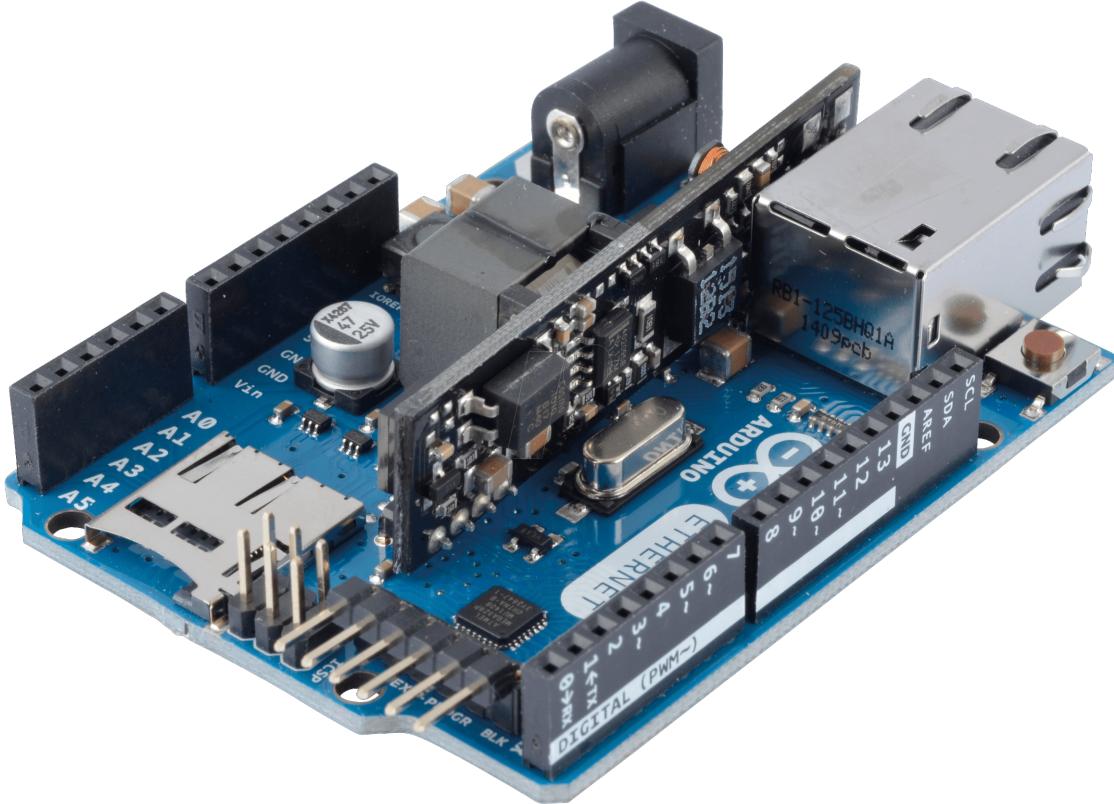


Figure 32: Arduino Uno Ethernet Shield

Al iniciar el programa en el microcontrolador este comunica su dirección IP a través de el puerto de comunicación serial. Una vez obtenida, se puede ingresar esta en un navegador para acceder a la pagina web generada por este. En esta se presenta el tiempo de funcionamiento del Receptor y por debajo se observa una lista de los mensajes reconocidos del lenguaje Morse.

## Servidor CW - Tecnicas y Herramientas Modernas 2022

### Mensajes recibidos:

1. 0:1:2 --> DERNAS
2. 0:1:2 --> S
3. 0:1:2 --> HOLA PROFESOR PALMA

Figure 33: Pagina Web mostrando el mensaje recibido

## 7 Referencias

- Alternativa al análisis en frecuencia de la fft mediante el algoritmo Goertzel:  
<https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/4566426.pdf>
- Explicación del algoritmo Goertzel:  
[https://en.wikipedia.org/wiki/Goertzel\\_algorithm](https://en.wikipedia.org/wiki/Goertzel_algorithm)
- Explicación del algoritmo Goertzel:  
<https://www.embedded.com/the-goertzel-algorithm/>
- Detección de tono único con algoritmo Goertzel:  
<https://www.embedded.com/single-tone-detection-with-the-goertzel-algorithm/>
- Transición correcta del estado de un botón:  
<https://docs.arduino.cc/built-in-examples/digital/Debounce>
- Características 18650:  
<https://technoluxpro.com/es/akkumulyatory/batarei/18650.html>
- Cargador Doble Modo:  
<https://www.electroschematics.com/dual-mode-battery-charger/>
- Cargador de 2 Pasos:  
<https://circuitdigest.com/microcontroller-projects/two-step-lithium-battery-charger-circuit>
- Diseñar un Cargador de 3 Etapas:  
<https://maker.pro/custom/tutorial/how-to-design-a-three-stage-battery-charging-circuit>
- Paneles Solares seleccionados:  
<https://articulo.mercadolibre.com.ar/MLA-832743365-cargador-de-baterias-de-6-volts-panel-solar>
- Utilizar MOSFET con Arduino:  
<https://www.luisllamas.es/arduino-transistor-mosfet/>
- Datasheet LM317: <https://www.electroschematics.com/lm317-datasheet/>
- Datasheet TIP41: <https://www.mouser.com/datasheet/2/149/TIP41C-890135.pdf>
- Datasheet 2N2222: <https://www.onsemi.com/pdf/datasheet/p2n2222a-d.pdf>
- Datasheet TL431: <https://www.ti.com/lit/ds/symlink/tl431.pdf>
- Datasheet IRF9540: <https://www.vishay.com/docs/91078/91078.pdf>
- Datasheet 1N5822: <https://www.vishay.com/docs/88526/1n5820.pdf>
- Datasheet 1N4007: <https://www.vishay.com/docs/88503/1n4001.pdf>