

Detector de metales

David Vilaseca, Andres Puricelli, Martin Bruder, Mariano Valenzuela

Resumen—Planteamos el diseño de un detector de metales para uso en control de acceso. La tecnología es de BFO (beat frequency oscillator) que consta de dos osciladores LC que se batan ante la presencia de un metal por la variación de la autoinductancia del inductor en uno de los osciladores produciendo una señal audible. El resultado lo presentamos mediante la construcción de un prototipo.

Palabras claves—detector, metales, seguridad, BFO

I. INTRODUCCIÓN

Un detector de metales es, como su nombre lo indica, un dispositivo capaz de alterar su estado de reposo ante la cercanía de un objeto metálico. Generalmente estos dispositivos tienen una bobina de búsqueda como elemento sensible a la cercanía de metales. Los detectores de metales pueden ser usados para infinidad de aplicaciones. Las más populares son, seguridad en control de accesos, búsqueda de minas, búsqueda de tesoros enterrados, búsqueda de caos y vigas en paredes y otras estructuras, y también se usan detectores de metales como sensores en control industrial. Dada la naturaleza de cada una de estas aplicaciones, es razonable pensar que los detectores de metales que se adapten a cada una de ellas serán diferentes entre sí. Es por eso que resulta fundamental especificar qué tipo de detector de metales se desea diseñar.

Tecnología de detectores

VLF (Very Low Frequency) es una de las tecnologías más populares hoy en día, consiste en dos bobinas concéntricas, una transmisora exterior y una receptora interior. A la bobina exterior se le aplica una señal alterna que genera un campo magnético que varía produciendo corrientes parásitas en los conductores que están en su cercanía, estos conductores a su vez producen un campo magnético que se opone al campo generado por la bobina transmisora. La receptora está blindada con respecto al campo magnético que genera la transmisora pero no lo está respecto a los conductores que están debajo. Por lo tanto, cuando la bobina receptora pasa encima de un metal que genera un campo magnético propio por corrientes de Foucault, éste induce una corriente sobre la bobina interior que es luego amplificadora y da una noción de la cercanía del objeto al detector.

PI (Pulse Induction) es una tecnología un tanto menos común, no necesita dos bobinas sino que puede realizar su tarea con una única aunque dependiendo del fabricante utilizan hasta tres inclusive. El sistema se basa en transmitir pulsos cortos sobre la bobina una gran cantidad de veces por segundo y analizar el pulso reflejado que se genera por revertirse drásticamente la polaridad del campo magnético producido. Si el detector se encuentra en presencia de un metal, se genera un campo magnético que retarda la caída del pulso generado. Es esta caída la que es muestreada para determinar la presencia de un conductor. Esta tec-

nología no es tan útil como la VLF para discriminar el tipo de metal pero a menudo detecta mejor los conductores enterrados a mayor profundidad.

BFO (Beat Frequency Oscillation) es la que permite construir detectores a menor costo. Se basa en la existencia de una bobina de referencia y una de búsqueda que se utilizan como osciladores a una misma frecuencia. Cuando la bobina de búsqueda se acerca a un conductor genera corrientes de Foucault que producen un campo magnético que varía la autoinductancia de la bobina de búsqueda. Esta variación conlleva una diferencia en las frecuencias de los osciladores que se batan y se amplifican produciendo un sonido audible.

II. DETECTOR DE METALES

El producto está conformado de 5 etapas que son analizadas y resueltas por separado para luego ser adaptadas y así conformar el detector de metales. A continuación se presenta un diagrama en bloques del conjunto y en las secciones siguientes se analiza por separado el funcionamiento de cada módulo. A saber, las etapas en orden son:

- Amplificador de audio
- Detector
- Oscilador
- Bobina exploradora
- Indicador visual

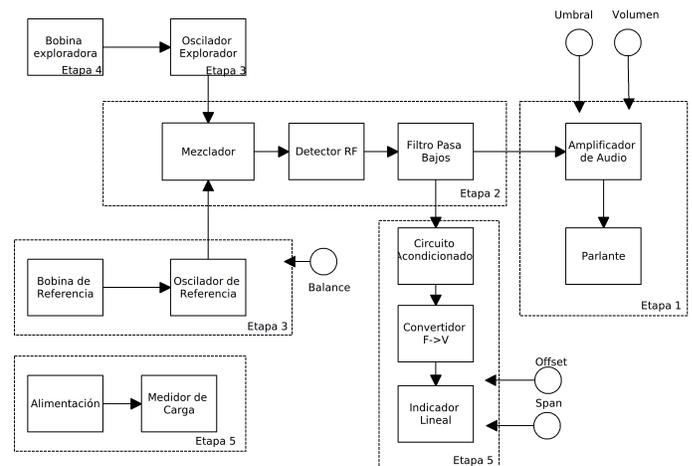


Fig. 1. Diagrama en bloque del dispositivo

A. Amplificador de audio

Esta etapa toma la salida del detector y la amplifica de manera tal que pueda ser aplicada sobre un parlante. Dado que la salida del detector ya es una señal de audio, no necesita ningún tipo de acondicionamiento más allá de la adaptación de impedancias y la amplificación en tensión y en potencia. Como parámetro de entrada el amplificador tiene un control de volumen y un control de umbral.

Se utilizó como amplificador operacional un LM386, éste consiste en una primera etapa destinada a rechazar lo máximo posible la componente de modo común que tenga la señal. Esto se logra mediante un par diferencial. Como segunda etapa se observa un bloque emisor común, destinado a lograr una ganancia de tensión elevada. Por último se puede ver una etapa que gana corriente (seguidor) y hace las veces de adaptador de impedancias para poder acoplar una carga de baja impedancia (8Ω en nuestro caso) a la salida. Se trata de una etapa pull-push, logrando así superar la eficiencia máxima teórica de un amplificador clase A. Respecto a la realimentación este circuito tiene una realimentación para continua mediante la resistencia de $15k\Omega$ y realimentación local en la etapa del par diferencial.

Se utilizó un parlante de 8Ω por lo que el capacitor de desacople asociado estará viendo una resistencia en ese orden y similar a la del parlante ya que la impedancia de salida del amplificador es considerablemente más baja. Con estas consideraciones el polo de bajas que aporta el capacitor debe estar por debajo de una frecuencia perceptible y un capacitor electrolítico de $220\mu F$ se aseguró de desacoplar la continua de $V_s/2$ y un polo en $f \sim \frac{1}{2\pi \cdot 8\Omega \cdot 220\mu F} \sim 90Hz$. El mezclador se espera que genere una señal por encima de esta frecuencia, de esta manera se garantiza el funcionamiento con baja probabilidad de error y se seleccionaría un componente de valor y tecnología que va a ser frecuente en el desarrollo. Por otra parte el potenciómetro a la entrada tiene que garantizar ser mucho mayor a la impedancia de salida del mezclador y será seleccionado de manera tal de permitirle al usuario poder variar el volumen de audio. Ubicamos a su vez un espacio para desacoplar la realimentación en el caso en que sea necesario. Esto corresponde a la R11 y a C9.

A continuación se grafica el esquemático utilizado para la construcción del prototipo:

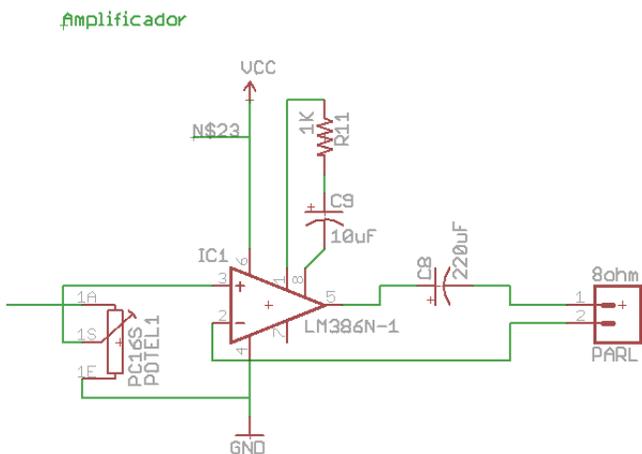


Fig. 2. Esquemático del amplificador

Las mediciones que se obtuvieron de este módulo son:

- Ancho de banda: $f_l = 20Hz$ y $f_h = 540KHz$

- Impedancia de entrada: $8.2k\Omega < Z_{in} < 10k\Omega$
- Impedancia de salida: $Z_o = 0.059\Omega$
- Ganancia de tensión: $A_v = 25$

B. Mezclador

El mezclador que se diseñó se basa en un emisor común degenerado. A la salida tiene un filtro pasabajos pasivo de primer orden para eliminar las componentes de alta frecuencia. El filtro tiene una frecuencia de corte $f_c = \frac{1}{2\pi R_{10} C_6} \approx 6KHz$ con lo cual queda las componentes audibles de la mezcla.

Las dos entradas están desacopladas de la base y se conectan mediante un diodo para evitar que se cierre el circuito de continua entre las dos entradas. El resistor R5 de $1k\Omega$ está para drenar la componente DC y poner los diodos en directa.

A la base del transistor se puso una red de un resistor y un capacitor en serie para atenuar la señal que proviene de los osciladores y evitar el recorte a la salida del mezclador.

Se hizo una prueba preliminar con otro circuito en el que las entradas estaban aisladas en DC mediante capacitores en lugar de diodos pero obtuvimos una distorsión armónica muy alta (unos 20dB de diferencia entre la fundamental y el primer armónico.) Con el circuito de los diodos la diferencia que se obtuvo fue de unos 30dB.

El capacitor que se usó para el filtro es de poliéster debido a su baja deriva térmica. Los capacitores de desacople de la entrada y la salida pueden ser cerámicos o electrolíticos según su valor.

A continuación se presenta el esquemático que se utilizó para construir el prototipo:

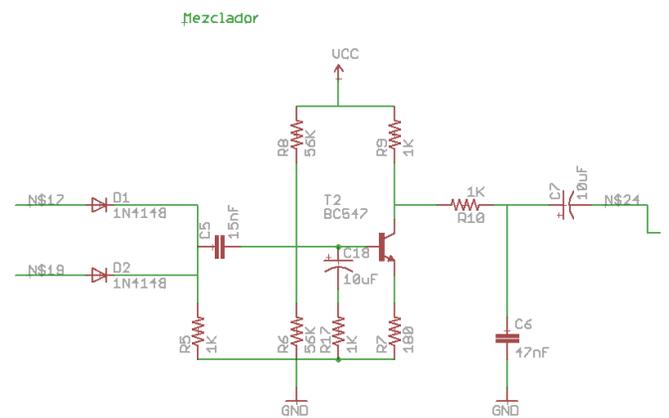


Fig. 3. Esquemático del mezclador

C. Oscilador

El transistor está polarizado mediante una red en la base (R_{12} y R_{13} en la figura 4), una resistencia de emisor de 100Ω (R_{15}) desacoplada en señal y una resistencia de colector de $1k\Omega$ (R_{14}).

El cálculo de la frecuencia de oscilación para la configuración de Colpitts es:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{C_1 + C_2}{C_1 C_2 L}}$$

Siendo $C_1 = C_{12} // C_{17}$ y $C_2 = C_{13} // C_{16}$

La corriente de polarización debe imponer un g_m tal que $Rg_m > \frac{C_2}{C_1}$ para que el oscilador comience a funcionar.

Los capacitores del tanque LC son de políester ya que se necesita un valor estable. Los capacitores de desacople son electrolíticos. En el oscilador de búsqueda se utilizó como inductor una bobina exploradora impresa en un PCB. El oscilador de referencia utiliza un choque de RF.

A continuación el esquemático del oscilador de búsqueda:

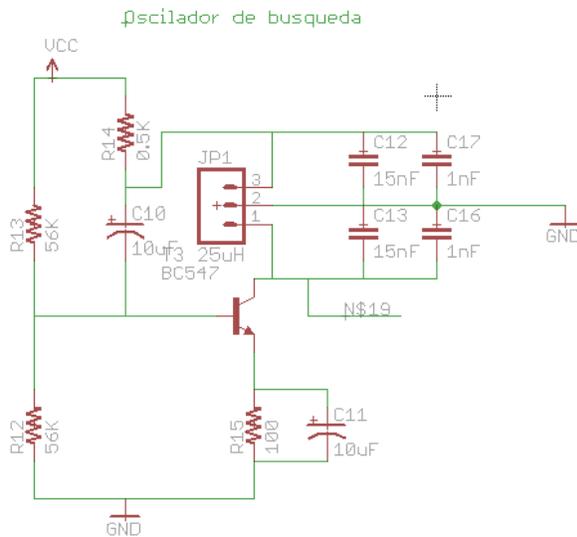


Fig. 4. Esquemático del oscilador de búsqueda

El inductor hecho en el PCB es analizado en la próxima sección y es el que se utilizó en el oscilador de búsqueda y en el oscilador de referencia se utilizó un choque de RF acoplado magnéticamente a una red formada por otro choque de RF y un potenciómetro de manera de poder controlar la inductancia mutua y así el usuario pueda variar la frecuencia de oscilación de referencia para calibrar el dispositivo. Esta red se puede ver en la figura 5, el L2 y el POTE2 son los que la conforman. C14 y C15 son capacitores actualmente inutilizados pero tuvieron lugares asignados en el prototipo en el caso de que fueran necesarios para elegir la frecuencia de oscilación de la referencia.

Algunas mediciones que se hicieron fueron:

- Tensión pico a pico: $V_{pp} = 4,48V$
- Tensión de continua: $V_{medio} = 3,27V$
- Frecuencia de reposo: $f = 462,9Khz$
- Distorsión armónica: 21,2db de la fundamenta al segundo armónico y 28db al tercero.

A continuación el esquemático del oscilador de referencia:

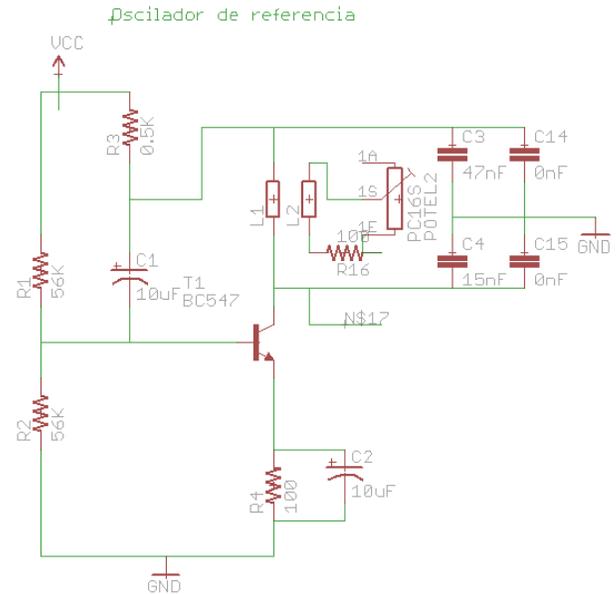


Fig. 5. Esquemático del oscilador de referencia

Algunas mediciones que se hicieron fueron:

- Tensión pico a pico: $V_{pp} = 4,8V$
- Tensión de continua: $V_{medio} = 3,22V$
- Frecuencia de reposo con el potenciómetro ajustado: $f = 462,8Khz$
- Frecuencia mínima: $f_m = 459,9Khz$
- Frecuencia máxima: $f_M = 471,7Khz$
- Distorsión armónica: 23,2db de la fundamenta al segundo armónico y 35,2db al tercero.

D. Bobina exploradora

Para la construcción de la bobina de búsqueda se utilizó el layout del programa de diseño de impresos Eagle para construir el modelo de la placa computacionalmente. Y para la construcción del PCB se utilizó el método de transferencia térmica de toner.

Por el tipo de uso para el que se esta construyendo el detector de metales es desable obtener una bobina en forma rectangular como para incrementar la superficie de detección de objetos. Las dimensiones que se utilizaron para el primer prototipo de bobina tipo pancake fueron:

- D1 (distancia a lo largo) 10cm.
- D2 (distancia a lo ancho) 8cm.
- A (separación del medio) 1cm.
- e (separación entre pistas) = 0.3mm.
- d (ancho de pistas) = 0.3mm.
- N (cantidad de vueltas) = 16 vueltas.

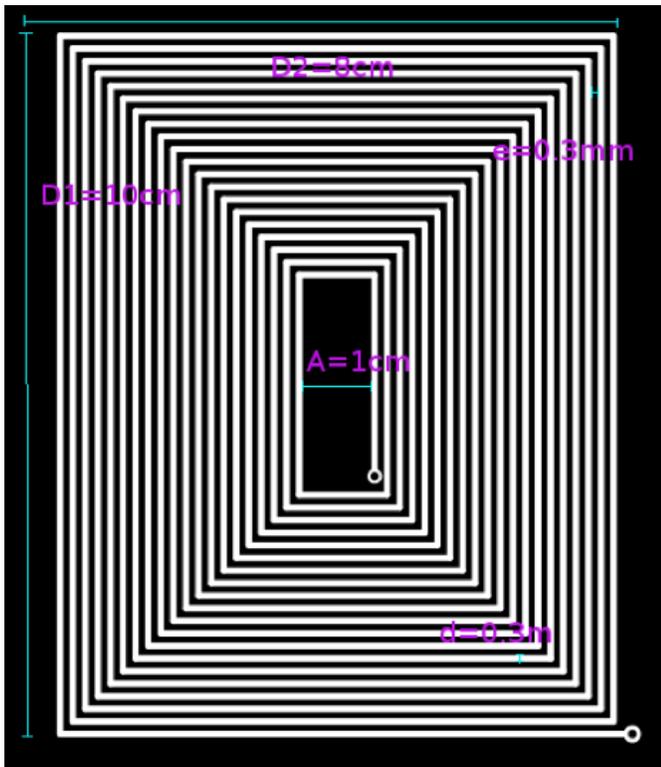


Fig. 6. Diseño de la bobina estilo pancake

Se realizó la medición de la bobina mediante un tester RLC. Los resultados obtenidos fueron:

- $L = 25\mu H$ (medido a 1Khz)
- $C = 13pF$ (inductancia paralelo del inductor)
- $R = 2\Omega$ (resistencia serie del inductor)

Los valores son válidos para su uso en el oscilador.

E. Indicador visual

La función de esta etapa es la de indicar a través de una barra de leds el estado de detección del dispositivo. Es una medida extra, además del indicador sonoro, para indicarle al usuario la presencia de un metal en las cercanías del detector.

En presencia de un metal, como se vió antes, hay un cambio en la frecuencia de la señal proveniente de la etapa 2. Esta frecuencia debe ser entonces convertida a una tensión continua proporcional a ella. Para este fin se utilizo el integrado LM2917, un convertor de frecuencia a tensión de alta linealidad, muy versátil y con alta disponibilidad en el mercado.

El integrado LM3914 se encarga de medir la tensión continua entregada por el convertor y mostrarla en un arreglo de leds.

El circuito tiene un arreglo de 5 leds, los cuales va encendiendo a medida que la señal de entrada alcanza los valores necesarios para cada uno.

El dispositivo incluye un indicador de batería baja. Este indicador estará montado sobre la misma placa que los leds indicadores de detección.

El objetivo de esta etapa es proporcionarle al usuario un indicador lumínico que advierta el estado de la batería de

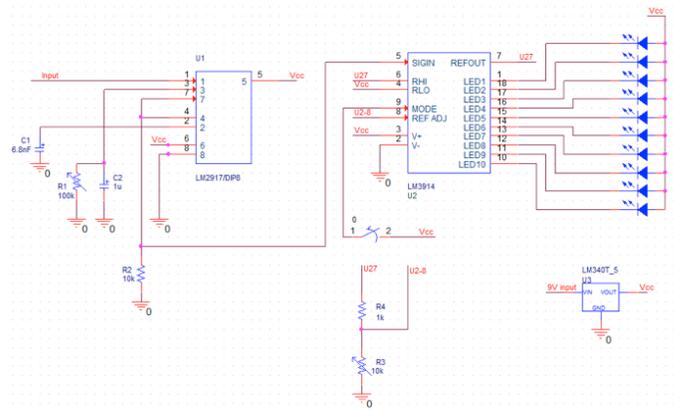


Fig. 7. Esquemático del vúmetro

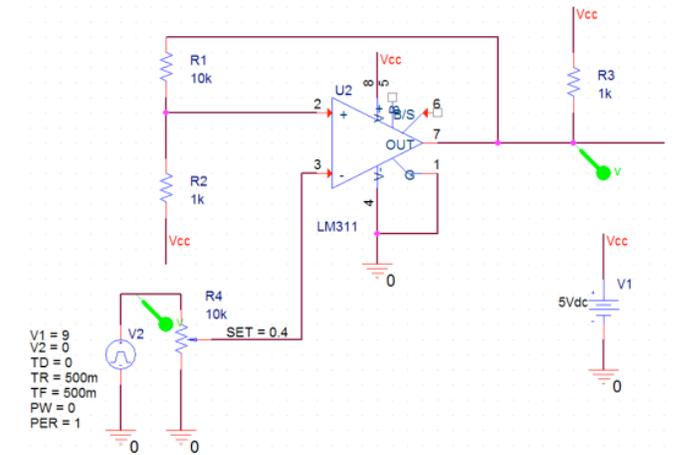


Fig. 8. Esquemático del indicador de batería baja

alimentación del circuito. Para este propósito se arma un circuito con un led.

Esta etapa es ajustable con un preset para ajustar el valor de tensión al cual se considera que la batería esta descargada.

Para este fin se utiliza un comparador. Un LM311 comparara dos niveles de tensión. Uno es a la alimentación de 5 volts la cual se utiliza como referencia. El otro nivel es una fracción de la tensión de 9 volts, que se obtiene de un divisor de tensión, del cual se deben obtener un poco mas de 5 volts.

III. CIRCUITO IMPRESO

El circuito impreso mide 8.1cm x 5.7cm. Las pistas tienen un ancho de 10mils, al igual que la separación entre pistas.

En el PCB hay testpoints en las salidas de los osciladores y en la salida del mezclador para poder realizar mediciones y verificaciones de forma simple.

Se diseño un circuito impreso que contiene el indicador de leds de detección y el led indicador de batería baja. Para el desarrollo del circuito impreso se tomo como objetivo minimizar el tamaño de la placa. Se realizo en una superficie de 4cmx6cm. Se utilizaron 2 puentes externos para

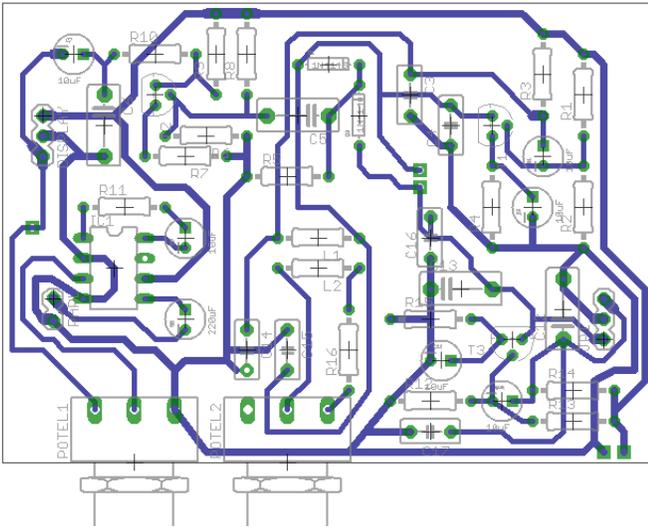


Fig. 9. PCB del detector

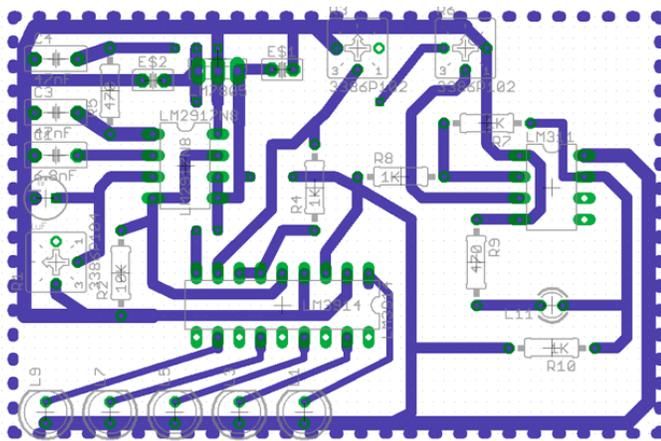


Fig. 10. PCB del indicador visual

transportar las señales de 9V y 5V de la zona izquierda de la placa a la zona derecha, donde se ubica el medidor de batería. Se previó la posibilidad de utilizar un filtro a la señal de entrada, el cual al final no se utilizó y quedó el espacio.

IV. CONCLUSIÓN

Los resultados fueron satisfactorios ya que lo obtenido está dentro de nuestras especificaciones. El diseño del mezclador no presentó muchas dificultades. Los dos puntos en que había que poner más atención fueron a la entrada, para poder conectar los dos osciladores y que no haya inconvenientes en cuanto a las impedancias, y por otro lado que los osciladores no se molesten entre sí. Y a la salida, había que filtrar todos los productos de intermodulación que eran de interés. Los osciladores funcionan y se comportan de acuerdo a lo esperado. Presentan una distorsión armónica aceptable y son estables en un margen conveniente. Fue interesante el problema de regular uno de los osciladores ya que se consideraron varias soluciones posibles, se descartaron algunas por complejidad o impracticidad.

Se optó una solución no convencional, muy simple y que dió buenos resultados. Respecto al indicador luminoso, los principales inconvenientes que mostró esta etapa fue en el momento de la implementación de la placa impresa. El éxito en el diseño inicial y su prueba en protoboard ayudó sin embargo a resolver estos problemas. La posibilidad de ajuste de la etapa por medio de los dos preset permitió un gran rango de trabajo, lo que impidió cualquier problema que se pudiera presentar a la hora de integrar esta etapa al resto del proyecto. El desarrollo del medidor de batería no presentó problemas. El circuito que se diseñó cumple las especificaciones propuestas de forma satisfactoria.