



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL
FACULTAD REGIONAL BUENOS AIRES
Departamento de Electrónica

Materia: Electrónica de Potencia
Proyecto 2° Cuatrimestre: Aplicaciones de baja frecuencia

Curso: R5053
Docente: Ing. Oscar Pugliese
Ayudante: Pablo Chiaramello

Alumnos: Hugo Alejandro Gomez 152466-5
Lucio Zolezzi Mir 147717-7



Índice

Objetivo	2
Descripción	2
Alcance	3
Desarrollo teórico	3
Simulación en LTSpice	6
Simulación Ideal	7
Simulación “real”	8
Diseño de placa en KiCAD	10
Diagrama en bloques	10
Esquemáticos	11
Board	12
Fabricación de placa	13
Placa “EGS002”	14
Placa “ESP32”	14
Placas en conjunto con transformador	15
Lista de materiales	15
Mediciones	16
Enlace video	22
Conclusiones	23
Referencias	23

Objetivo

El objetivo en el segundo cuatrimestre es en primera instancia, realizar un inverter 12v-220V usando una configuración con puente H y una señal SPWM de tres niveles. En segunda instancia, se investigará cómo funciona el circuito si en vez de usar un transformador de hierro laminado se usa un transformador de ferrite, de los que se encuentran típicamente en las fuentes SMPS. Como conclusión determinaremos si se puede o no usar este tipo de transformador. Si no es posible propondremos que causas creemos que hacen que no se pueda utilizar como esta y si hay que hacer alguna modificación

Descripción

El proyecto se basa en un inverter de 12V-220V utilizando un puente H y una señal SPWM de tres niveles. Para la generación de esta señal se usará el módulo EGS002. La misma es una placa, basada en el ASIC EG8010, la cual tiene como objetivo la generación de la señal SPWM y sus variantes para la entrada del puente H (se explicará sobre estas señales más adelante en el desarrollo teórico). Otra ventaja de utilizar esta placa es que ya viene con protecciones integradas y la posibilidad de usar realimentación para ajustar las señales en función de la carga.



Alcance

El alcance del proyecto está definido por el diseño, simulación y elaboración del inversor, junto con sus posteriores pruebas para corroborar las especificaciones planteadas al inicio. En el caso de este proyecto, los rangos de tensión no son tan relevantes como las conclusiones que se pretenden sacar en cuanto a los transformadores.

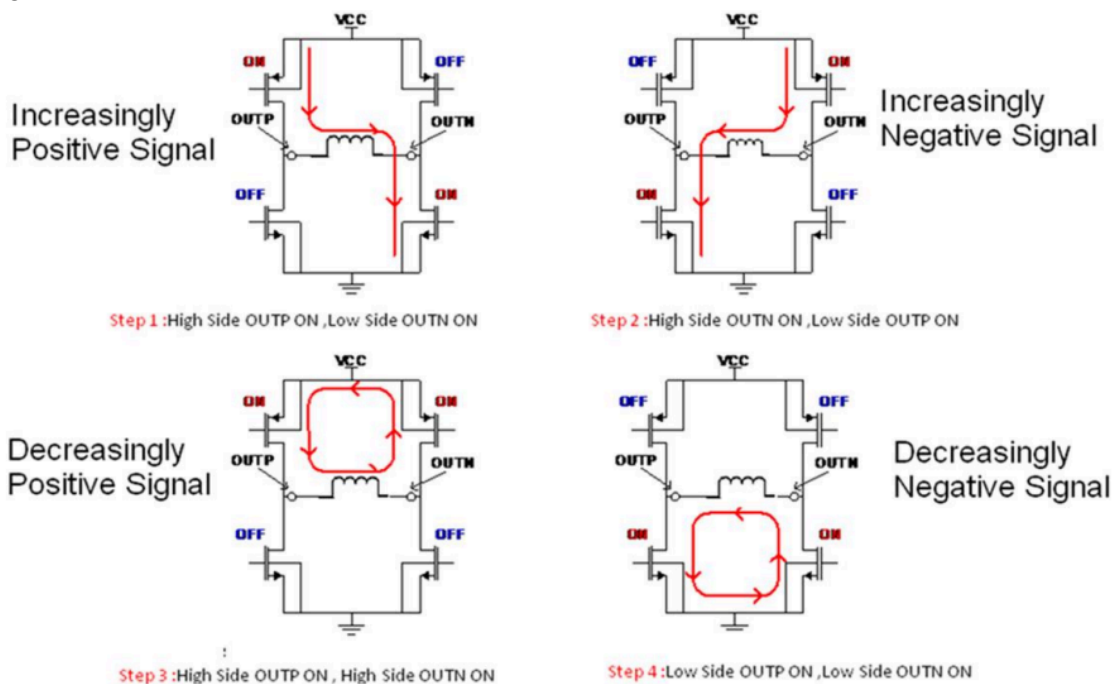
Las especificaciones del inverter:

- Tensión de entrada: 12V
- Tensión de salida: 220V @ 50Hz

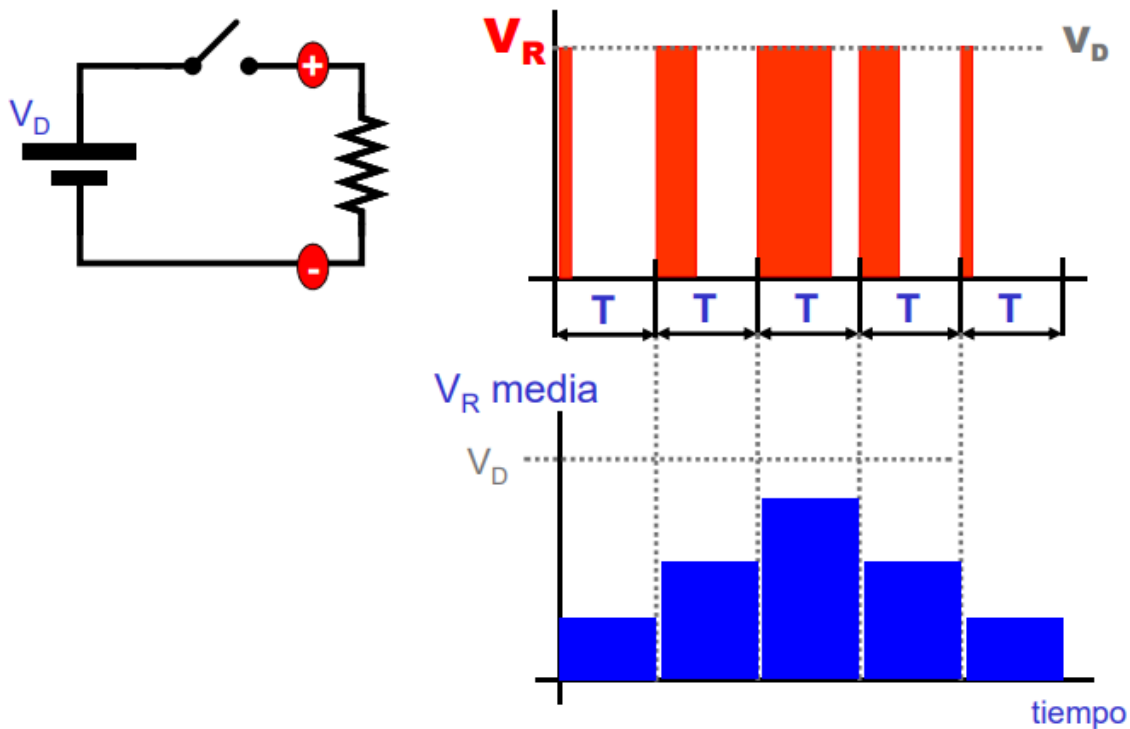
Desarrollo teórico

Primero empezaremos con una introducción básica de inversores. El objetivo de los inversores es transformar una tensión continua a una tensión alterna, normalmente al nivel y frecuencia de la red domiciliaria. Para lograr esto hay 2 formas a grandes rasgos de hacerlo normalmente. La primera es transformar tensión continua de bajo nivel a tensión continua de alto nivel para luego transformarla a tensión alterna de alto nivel. La segunda es pasar primero de tensión continua de bajo nivel a tensión alterna de bajo nivel, para luego pasar a tensión alterna de alto nivel. En el proyecto se usará la última mencionada

En cuanto a la topología del circuito, se optó por utilizar un puente H. Esto es debido a que debemos trabajar con una señal de 3 niveles, por lo cual una de las topologías que nos permite lograrlo es el puente H (+V , 0 , -V). En la siguiente imagen podemos observar como se generaron estos niveles de tensión.

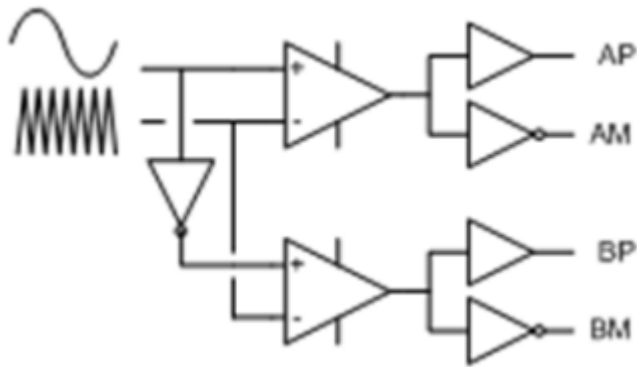


Desarrollaremos ahora sobre las señales SPWM. La idea es modular una señal senoidal con un ciclo de actividad por periodo que sea proporcional al nivel de dicha señal, obteniendo así una tensión media que se asemeja a una señal senoidal (cuanto más muestras por ciclo más se asemeja a esta). El siguiente gráfico da una idea de este concepto

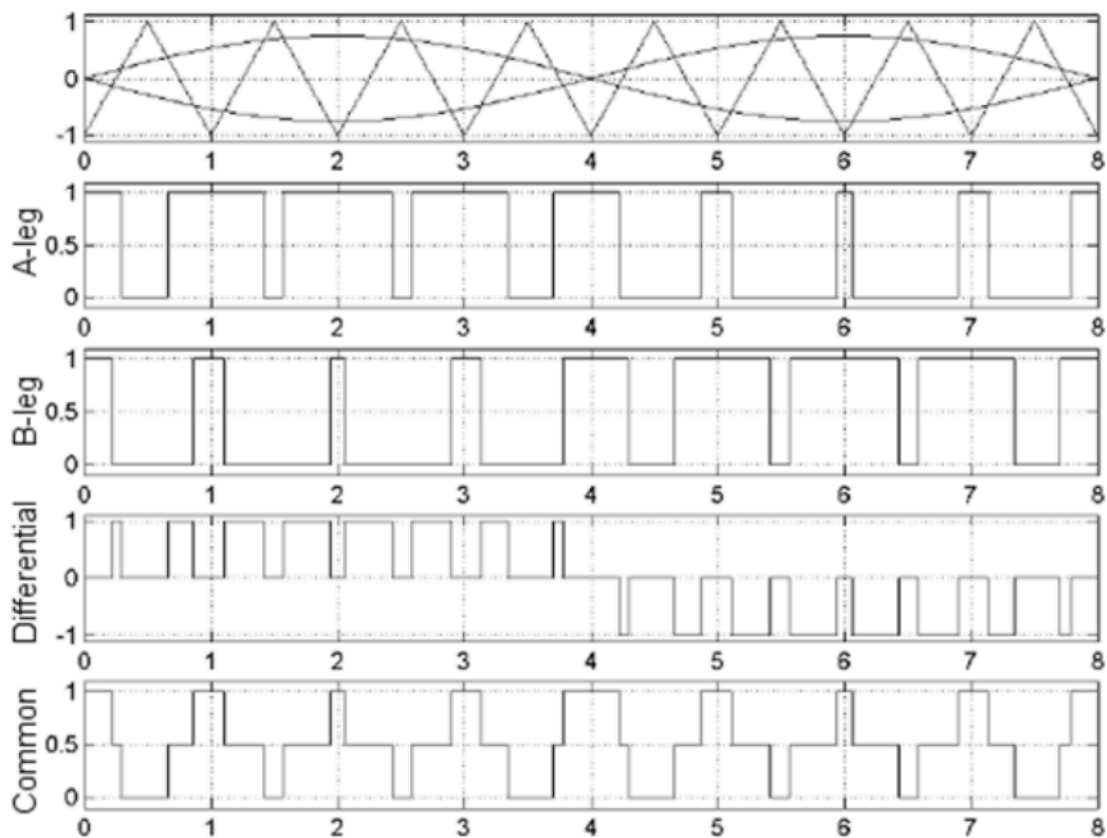


Se pretende generar esta señal, tanto para ciclo positivo como negativo, para que sea alimentada a un transformador, donde este eleve la tensión al nivel requerido, y luego al filtrar con un filtro LC se obtenga una señal senoidal de las características requeridas.

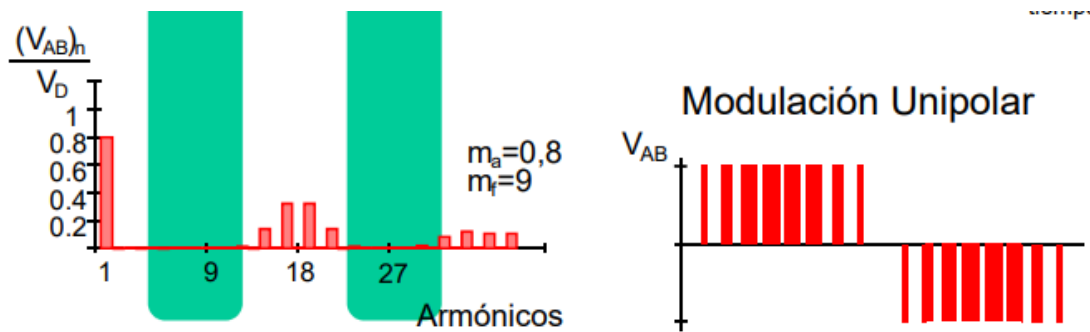
Volviendo al puente H, para lograr la señal de tres niveles debemos generar las 4 señales que controlan los transistores del puente. Un lado del puente se alimenta con la señal senoidal modulada en SPWM con su complementaria que sería la señal senoidal desfasada 180° modulada en SPWM y negada. El otro lado del puente tendría la señal senoidal modulada en SPWM negada y del otro la señal senoidal desfasada 180° modulada en SPWM (el siguiente gráfico aclara de manera visual este concepto)



De esta manera se generan las siguientes señales en las distintas piernas del puente H y su salida diferencial y modo común, donde apreciamos que la salida diferencial es la SPWM de tres niveles que deseamos que entre al transformador

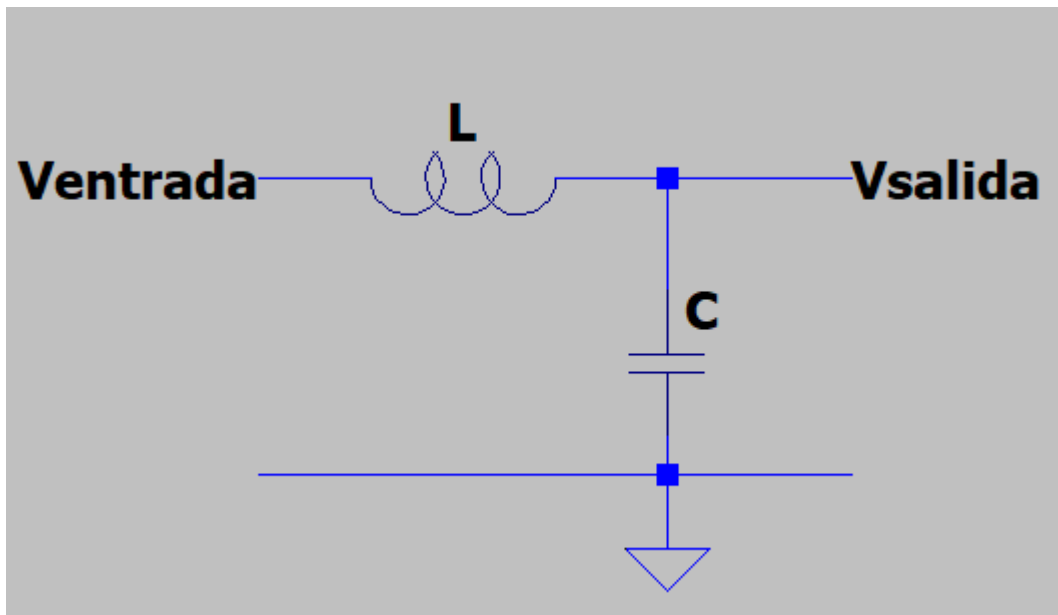


Esta señal que entra al transformador va a tener frecuentemente la componente de 50Hz de la señal senoidal y las componentes de la modulación que genera la onda triangular. Un ejemplo se muestra como sería para el caso de una modulación con una onda triangular con una tensión del 80% de la senoidal de entrada y 9 veces la frecuencia.



Por último, la señal SPWM de tres niveles elevada pasará por el filtro LC. El filtro LC debe tener una frecuencia de corte la cual se obtenga una senoidal ideal de 50Hz. Para calcular este filtro podemos usar la siguiente ecuación.

$$f_c = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$



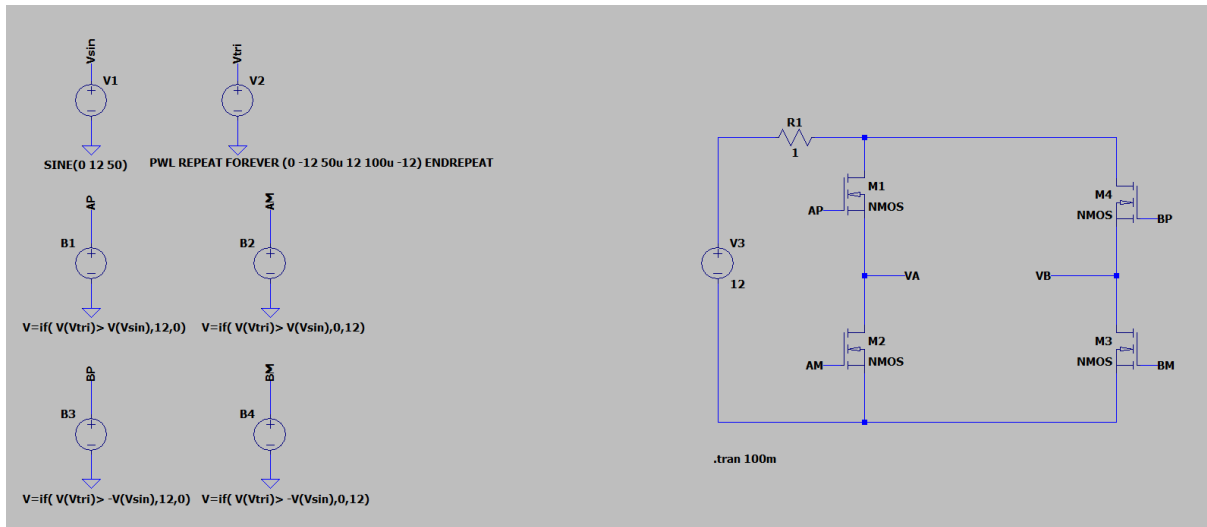
Simulación en LTSpice

Se realizaron 2 simulaciones para el puente H. La primera con un circuito de puente H ideal. La segunda utilizando una configuración más cercana a la real, donde se utilizan MOSFET IRF, elementos complementarios y filtro LC. En ambos casos para la generación de la señal SPWM se usaron 4 generadores condicionales. Estos cumplen la función de los comparadores que se vieron en la parte teórica para la generación de las señales SPWM que van a alimentar los MOSFET



Simulación Ideal

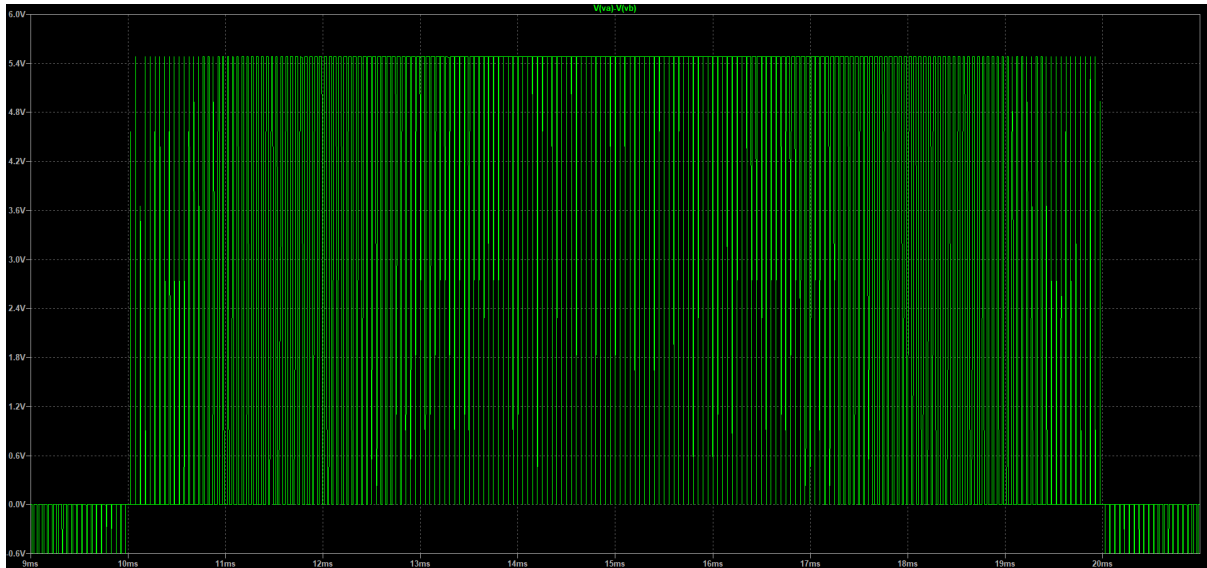
Circuito



Señales

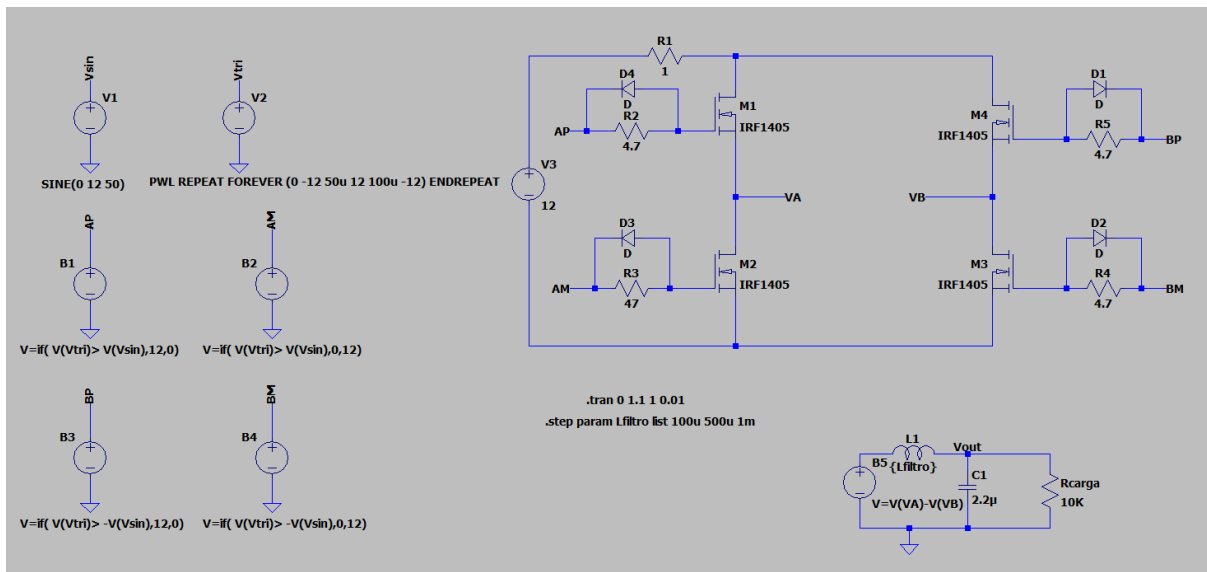
- Señal diferencial de salida en el puente ($V_A - V_B$)





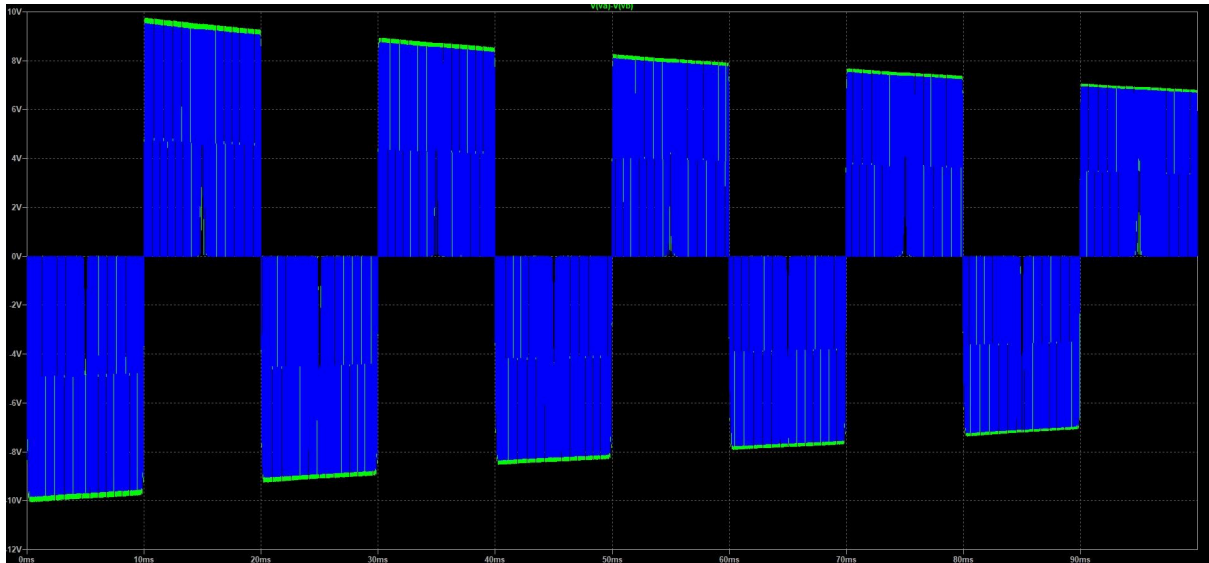
Simulación “real”

Circuito

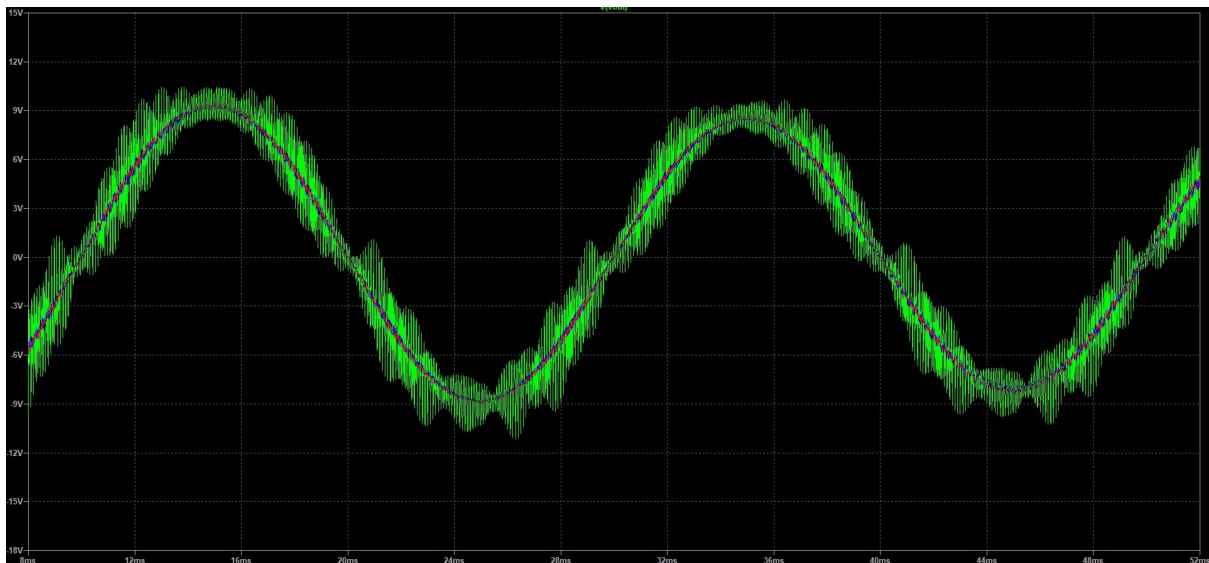


Señales

- Señal diferencial de salida en el puente (Va-Vb)
 - Se observa un transitorio además de varias componentes de alta frecuencia extra



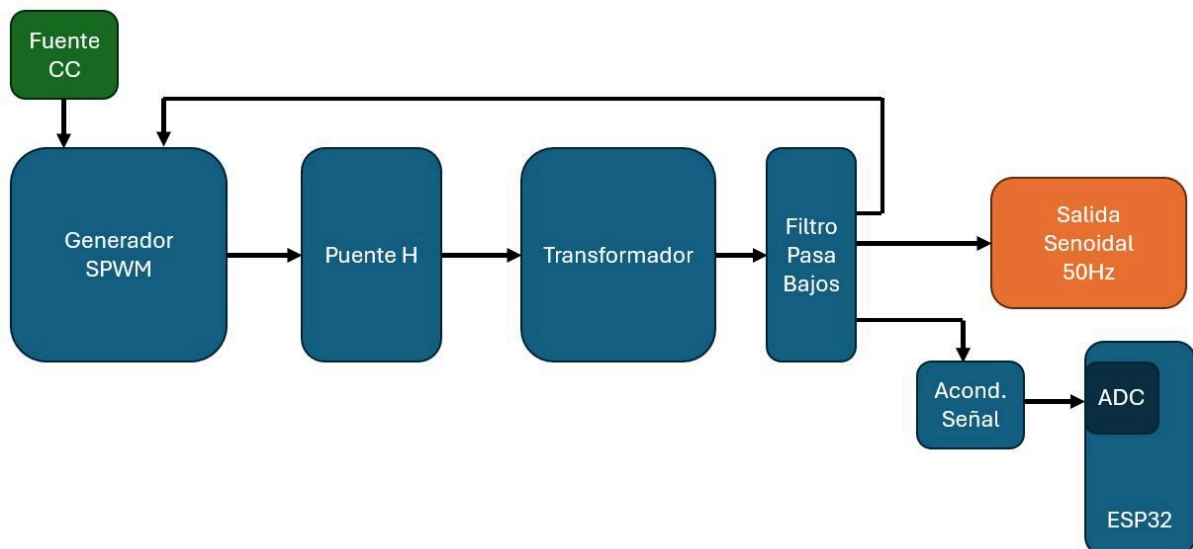
- Salida (barrido de inductancia de la bobina de salida)
 - Se usaron valores de $C=2,2\mu F$ y L barrido entre los valores 100 μH , 500 μH y 1 mH
 - Como era de esperarse, se van a observar componentes de alta frecuencia incluso después del filtrado



Diseño de placa en KiCAD

Diagrama en bloques

Para llevar a cabo el proyecto a partir de las simulaciones y requerimientos, se planteó el siguiente diagrama en bloques.



Para construirlo realizamos dos placas que actúan en conjunto. Una placa dedicada al generador de SPWM (la denominaremos “Placa EGS002”) y puente H para conectar al transformador, y la segunda, encargada del filtrado y acondicionamiento de la señal para el muestreo del ADC del ESP32 (denominada “Placa ESP32”).

La “placa EGS002” tiene como secciones: la alimentación, el conector al driver EGS002, el puente H y la realimentación de tensión.

Como alimentación se utilizó 12 VCC, provista por fuente de laboratorio, y se encarga de suministrar la tensión de 12V al puente H y con un regulador de 5V la alimentación al driver. En el puente H se utilizaron 4 MOSFET del tipo IRF3205.

El driver cuenta con una realimentación de tensión como protección ante cambios en la salida deseada. Esta realimentación viene desde la Placa ESP32, se conecta al secundario del transformador, se rectifica con un puente de diodos y se ajusta con un divisor resistivo para tener el nivel correspondiente.

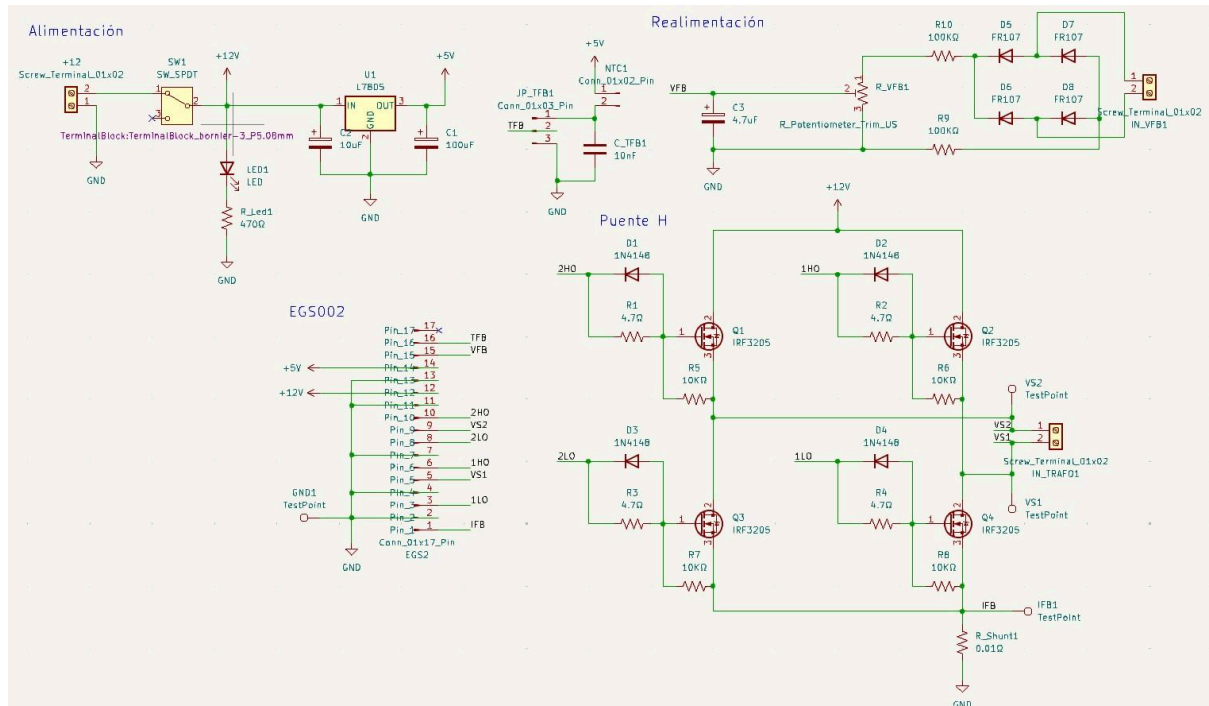
La “placa ESP32” toma como alimentación la misma fuente de la placa anterior, y cuenta con dos reguladores: uno de 5V para el ESP32 y uno ajustable encargada de suministrar un nivel de continua para acondicionar la señal al ADC.

Aquí se recibe el secundario del transformador y se lo conecta a un capacitor de filtrado. Luego del filtro se tiene una salida para la realimentación de tensión que va hacia la “Placa EGS00” y a su vez, un divisor resistivo para llevar la señal senoidal de alta tensión (respecto al primario) a los valores que requiere el ADC (0 a 3,3V). Se usaron dos preset, el RV1 para ajustar la tensión de continua a 1,65V y el RV2 para llevar los valores máximos y mínimos del secundario, aprox 220V pico, a 1,65V pico, que al estar montado sobre la continua detallada anteriormente, se obtiene la señal entre 0 y 3,3V para el ADC.

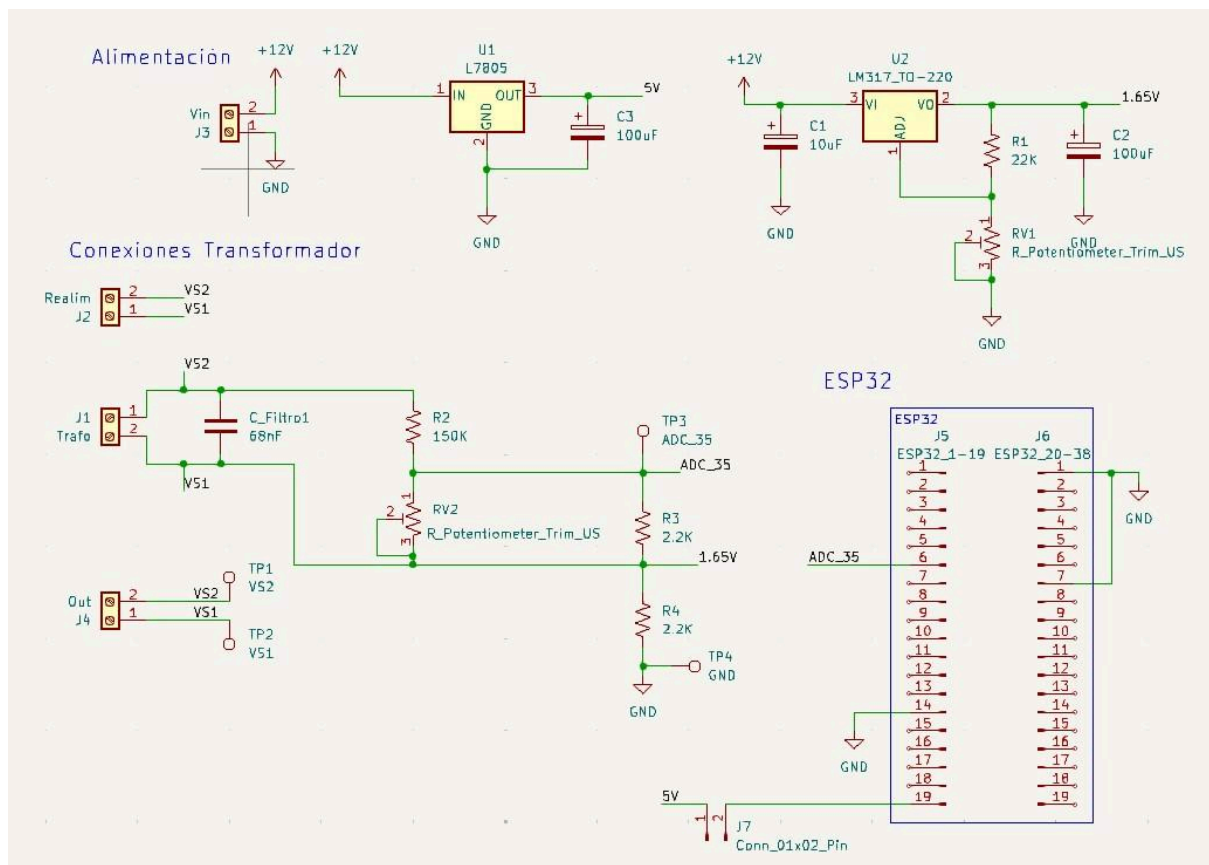


Esquemáticos

Placa EGS002



Placa ESP32

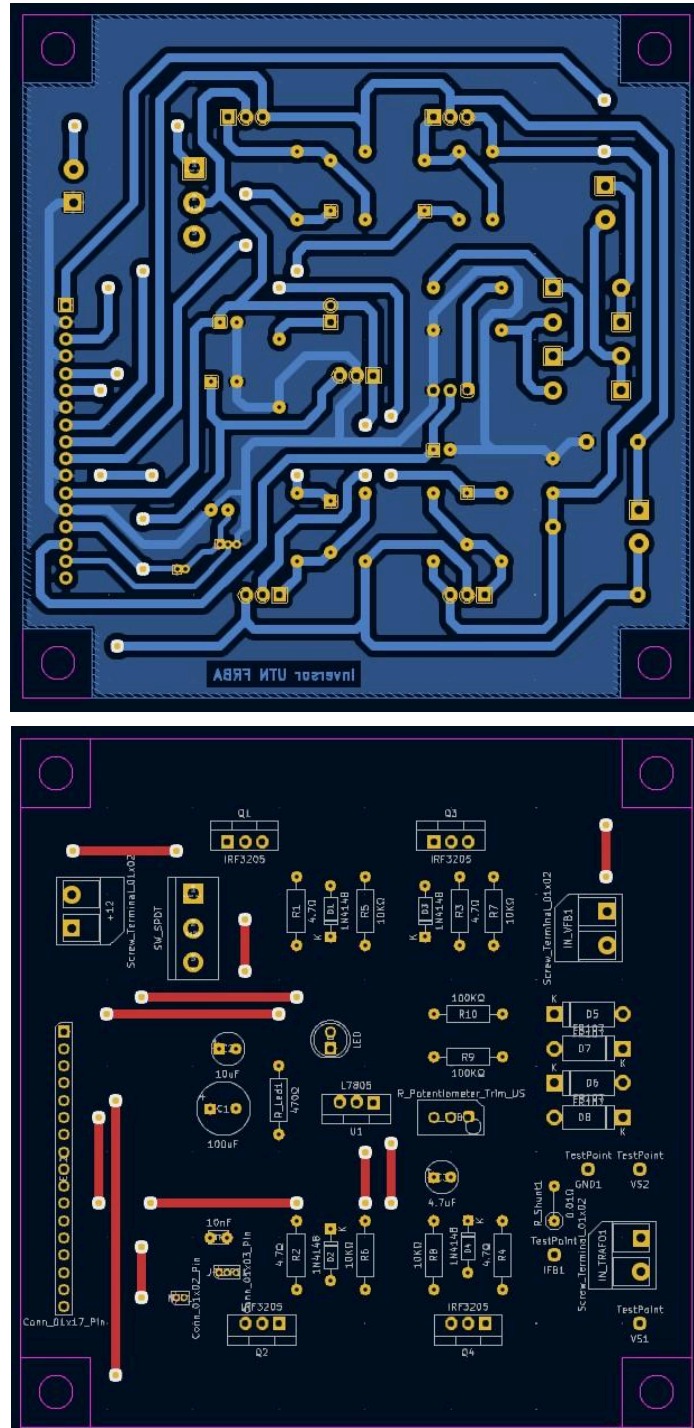




En ambas placas se decidió utilizar test points para facilitar mediciones.
En la Placa EGS002 se colocaron test points en los bornes de salida del puente H y en GND.
En la Placa ESP32 se utilizaron en la salida del transformador y en el pin del ADC.

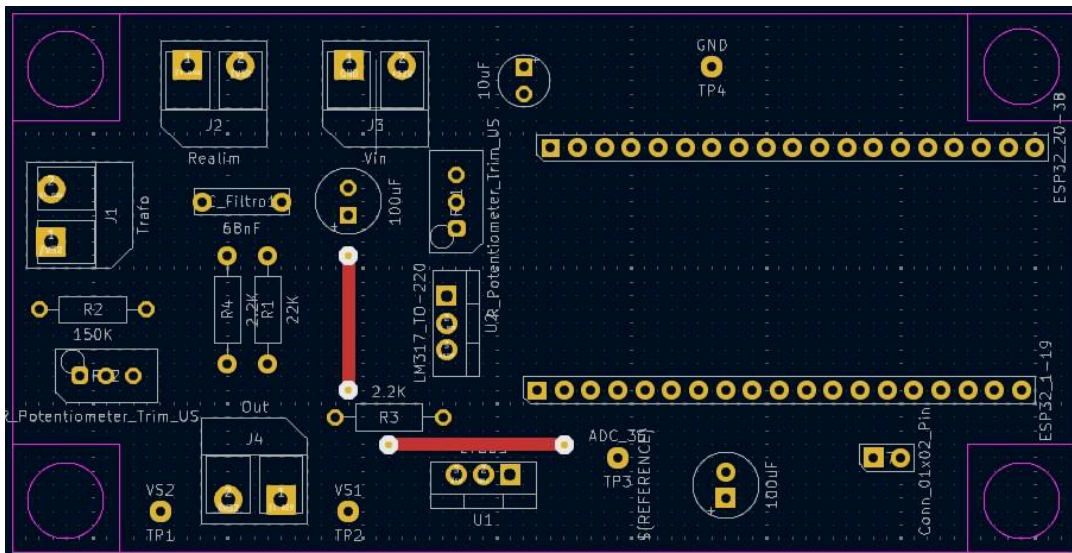
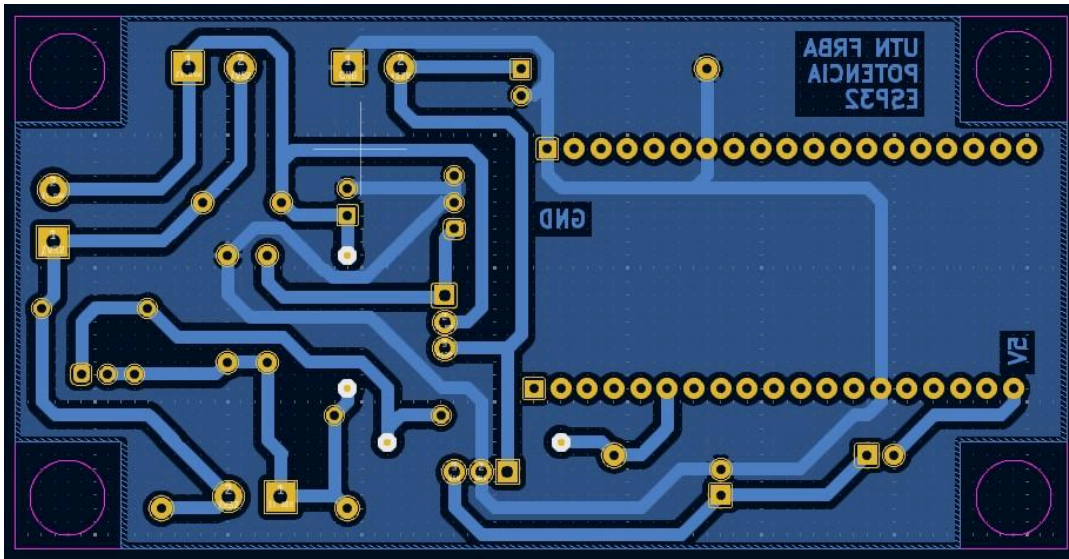
Board

Placa EGS002





Placa ESP32



Fabricación de placa

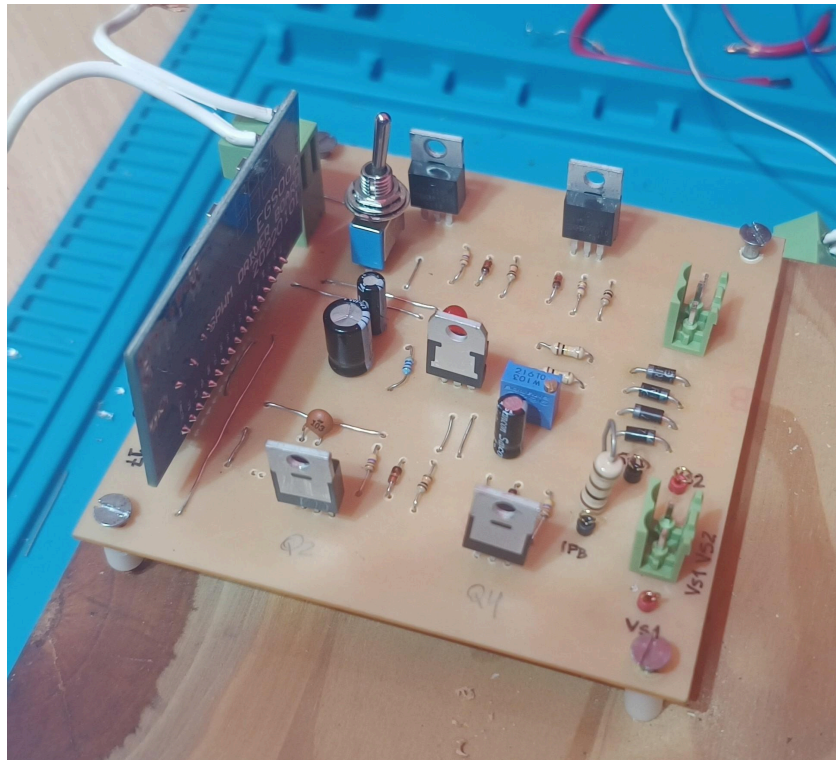
Procedimiento

Para realizar la placa, usamos el método de planchado para transferir el diseño a la misma. Una vez planchado, se procedió a sumergir la placa en cloruro férrico para grabar el diseño, disolviendo el cobre que quedó sin protección.

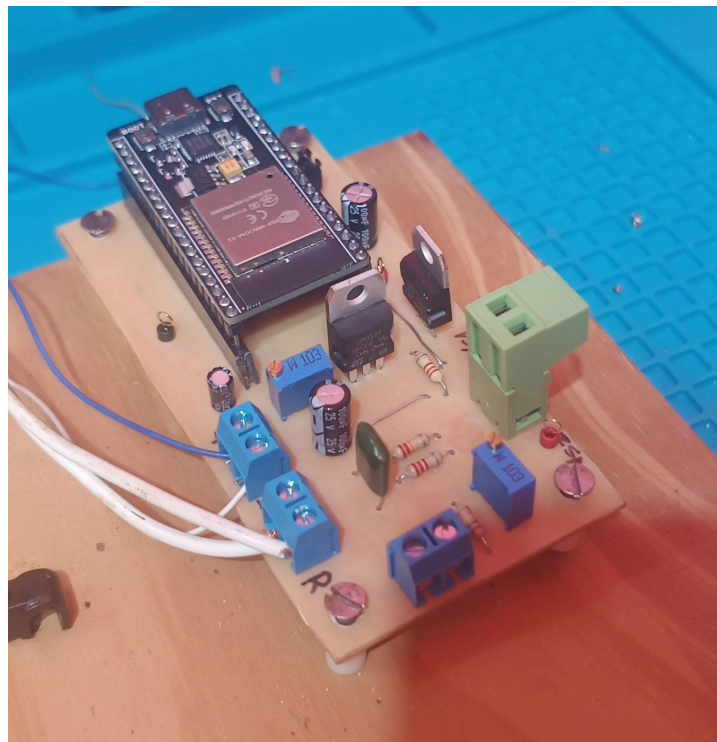
Luego de dejar actuar al cloruro férrico y enjuagar la placa, era el turno de agujerear. Se realizó una aplicación de flux en toda la placa para facilitar la soldadura y como protección del cobre.



Placa "EGS002"

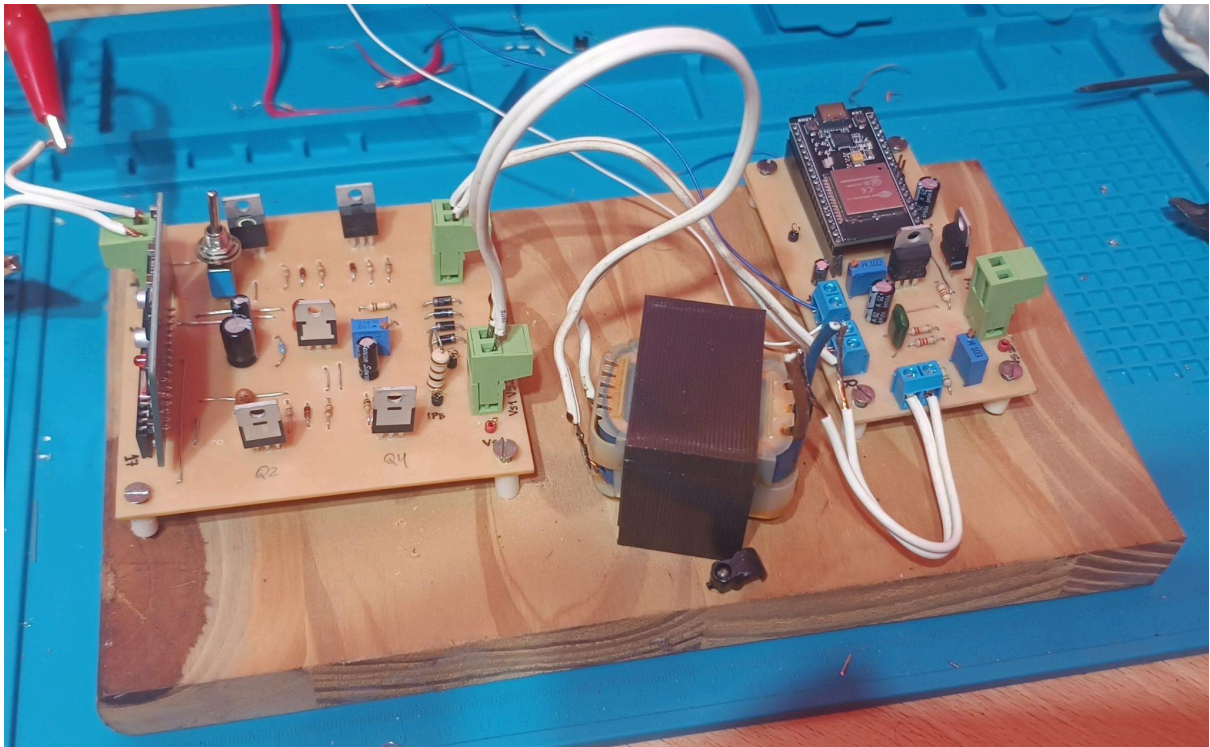


Placa "ESP32"





Placas en conjunto con transformador



Lista de materiales

Ítem	Valor	Cantidad	Precio unitario
Resistor	100K Ω	2	-
Resistor	10K Ω	4	-
Resistor	4.7 Ω	4	-
Resistor	470 Ω	1	-
Resistor	150K Ω	1	-
Resistor	22K Ω	1	-
Resistor	2.2K Ω	2	-
Diodo	1N4148	4	\$20
Diodo	FR107	4	\$40
Preset	10K Ω	3	\$619,82
Switch	3 posiciones	1	\$1667,11
Led	Rojo 5mm	1	-



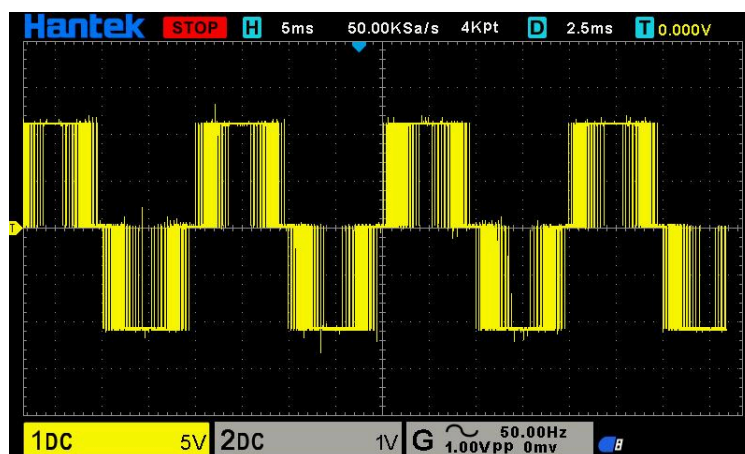
Capacitor	10uF	2	\$99,17
Capacitor	100uF	3	\$100
Capacitor	68nF	1	-
Capacitor	2.2uF	1	\$1600
Capacitor	4.7uF	1	\$50
Transistor	MOSFET IRF3205	4	\$1000
Regulador	7805	2	\$679,24
Regulador	LM317	1	\$566,04
Borneras	2 vías	7	\$200
Tira de pines macho	40 pines	1	\$283,02
Tira de pines hembra	40 pines	2	\$1528,29
EGS002	SPWM	1	\$24450
ESP32	Microcontrolador	1	\$10901
Test Point	1 pin	8	\$473,54
Placa de cobre 1 faz	10x10	2	\$2800

Presupuesto total: \$61318,35

Mediciones

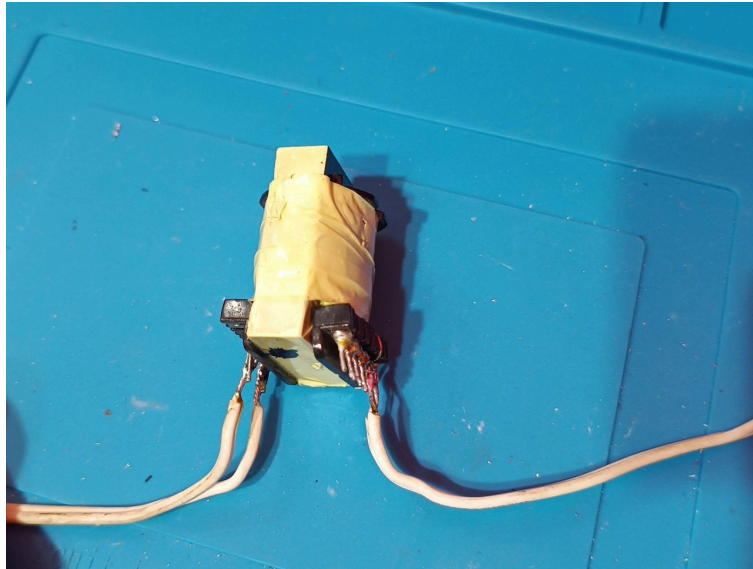
En primer lugar se midió la “Placa EGS002” sin carga para corroborar el funcionamiento del generador de SPWM.

A la salida del puente H se observaron los pulsos positivos y negativos con distintos ciclo de actividad.

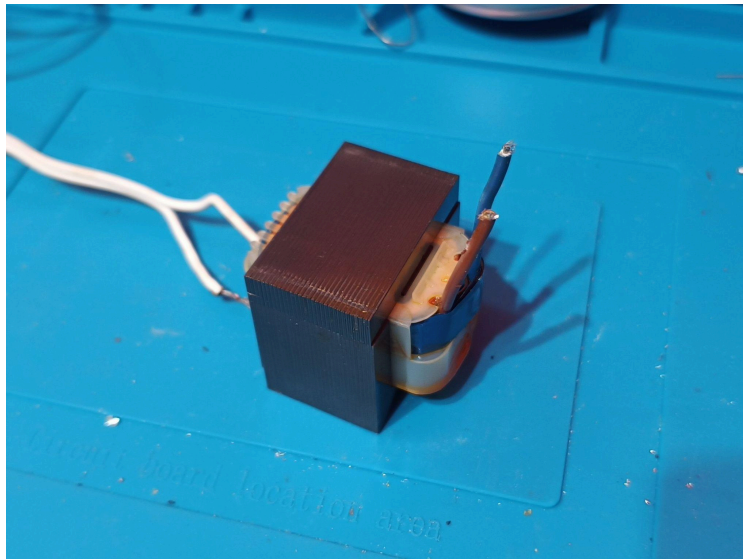




Como carga se utilizaron dos transformadores, uno de núcleo de ferrite y el otro de hierro laminado.

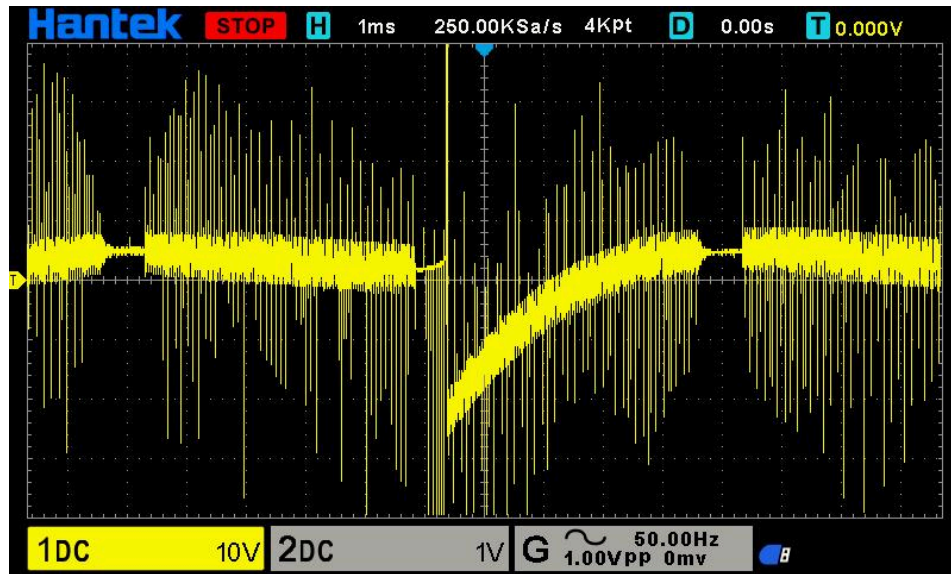


Transformador de núcleo de ferrite



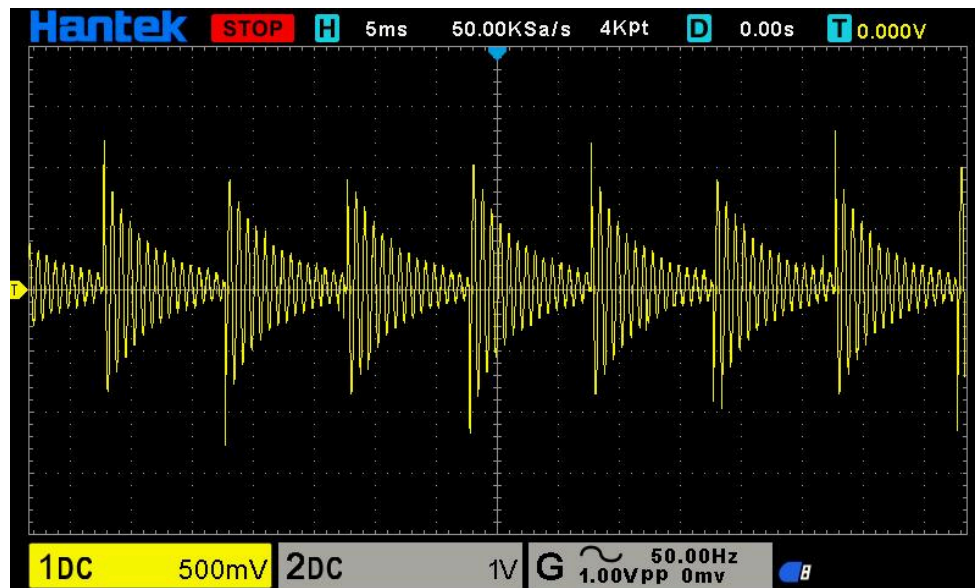
Transformador de núcleo de hierro laminado

En primer lugar se midió con el de ferrite, obteniendo la siguiente señal en el secundario del transformador, donde prácticamente sólo se logra apreciar ruido.



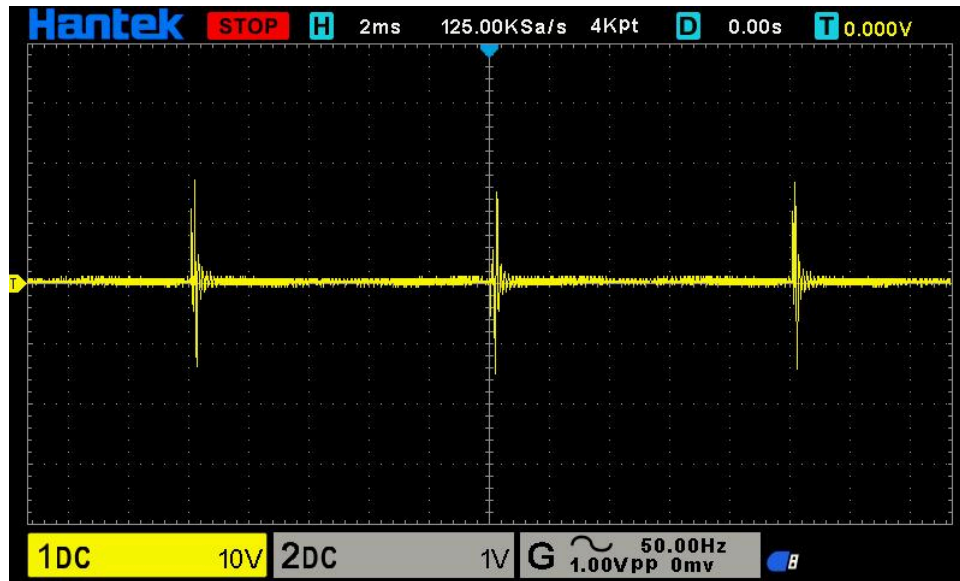
Posteriormente se le adiciono un capacitor para filtrar las altas frecuencias. Como variantes usamos un capacitor de poliester de 2,2uF y otro de 68nF.

Señal obtenida con el capacitor de 2,2uF



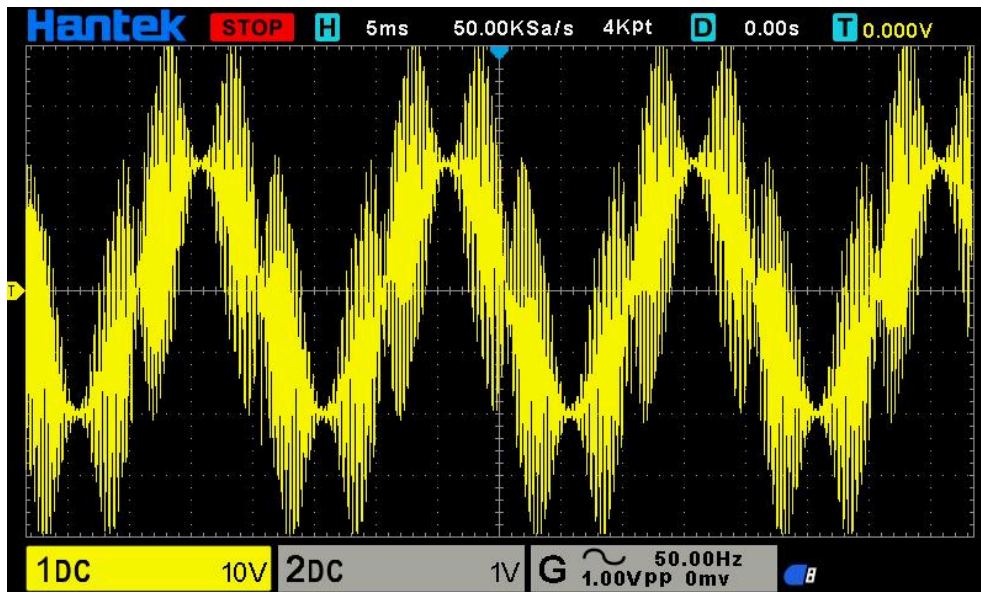


Señal obtenida con el capacitor de 68nF



Con el filtrado se logra extinguir el ruido pero no se obtiene la senoidal deseada.

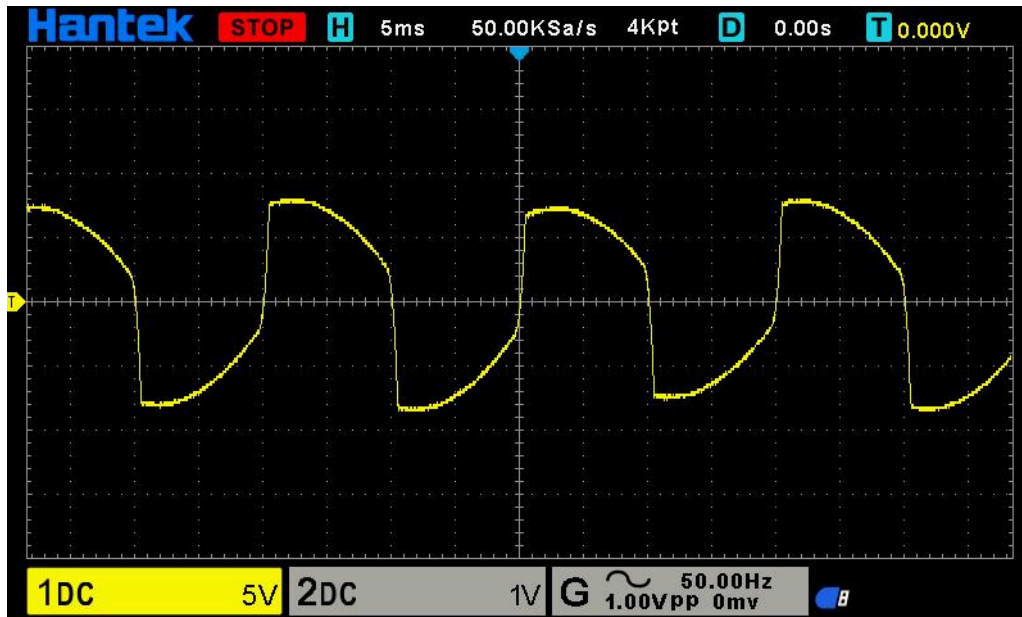
En segundo lugar se midió con el transformador de núcleo de hierro laminado. Obteniendo en el secundario la siguiente señal.



En este caso se debió poner la punta del osciloscopio en x10. Aquí sí se logra distinguir la senoidal de 50Hz y casi 200V pico aunque con ruido montado. Se repitió la misma medición con los capacitores anteriores.

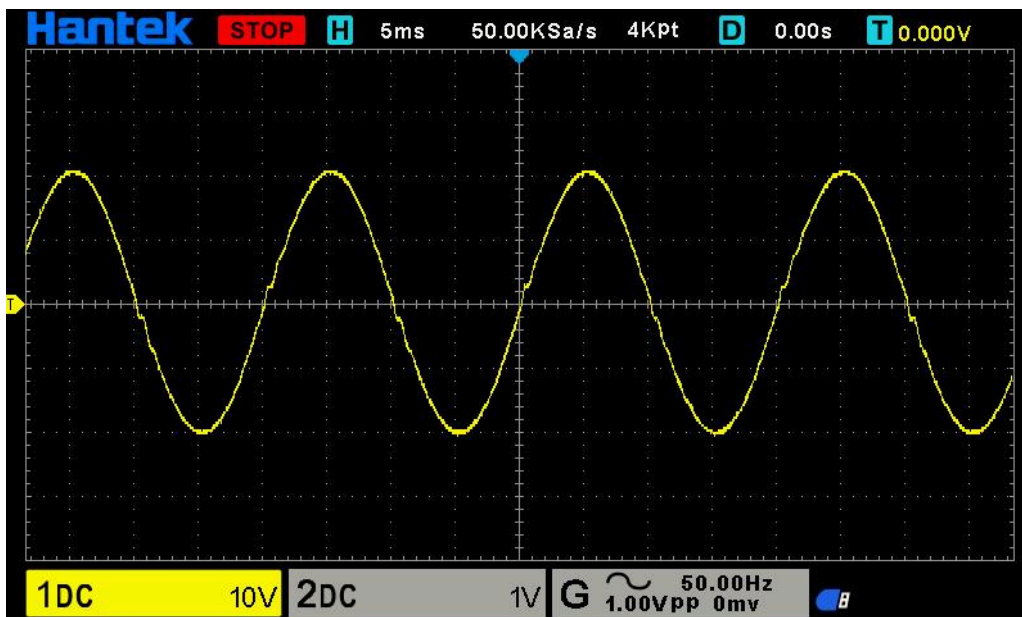


Señal obtenida con el capacitor de 2,2 μ F



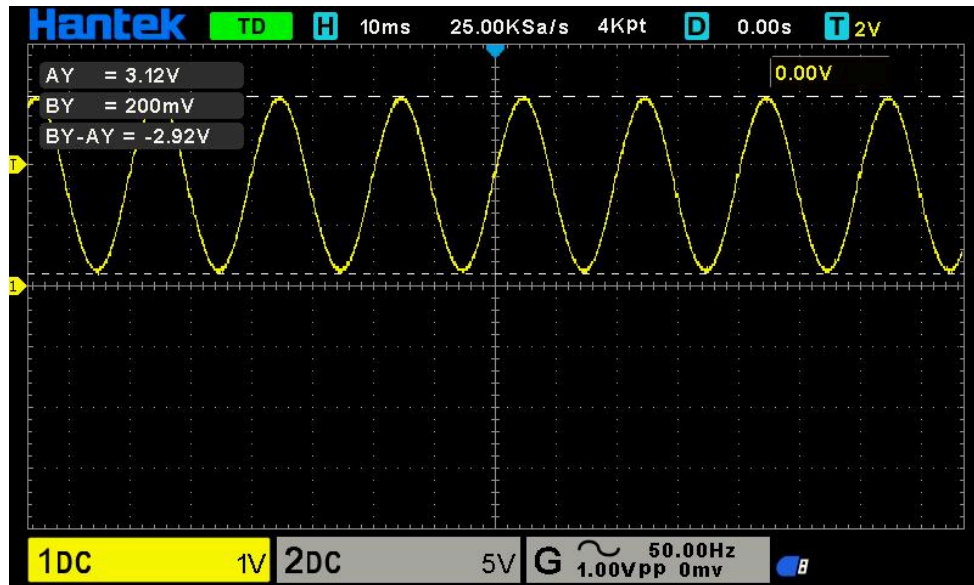
Se consiguió eliminar el ruido pero se ve la señal deformada y atenuada.

Señal obtenida con el capacitor de 68nF



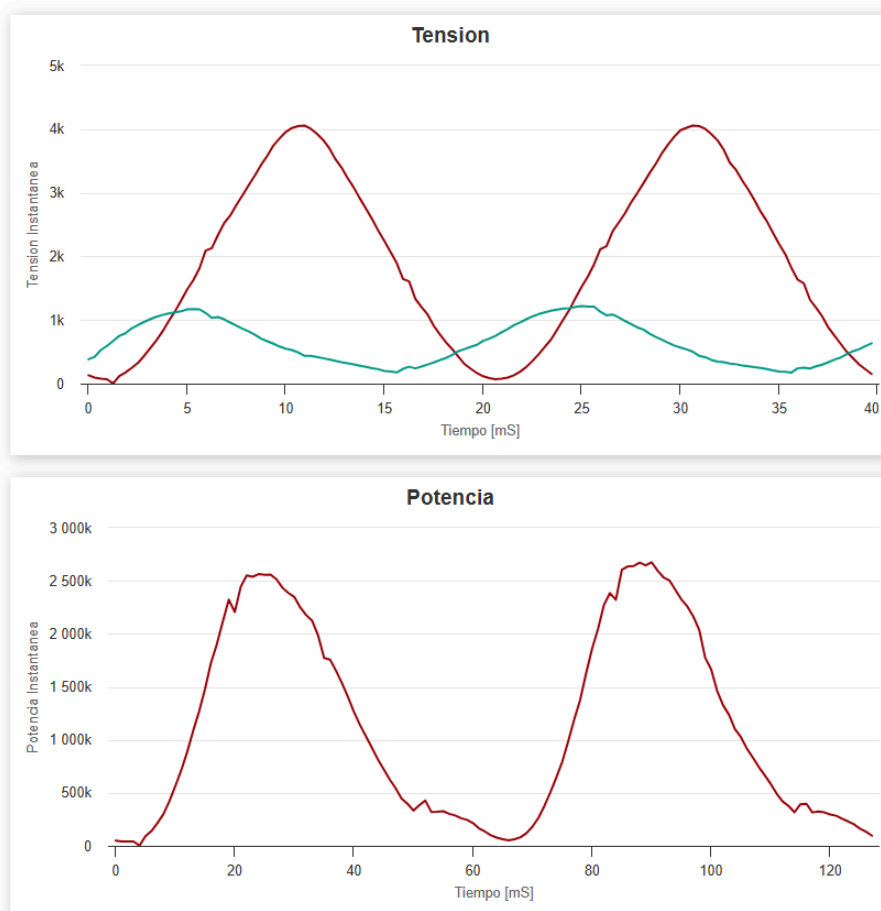
Este caso fue el mejor que obtuvimos, sin atenuación, el ruido filtrado aunque con una pequeña distorsión cercano a los cruces por cero.

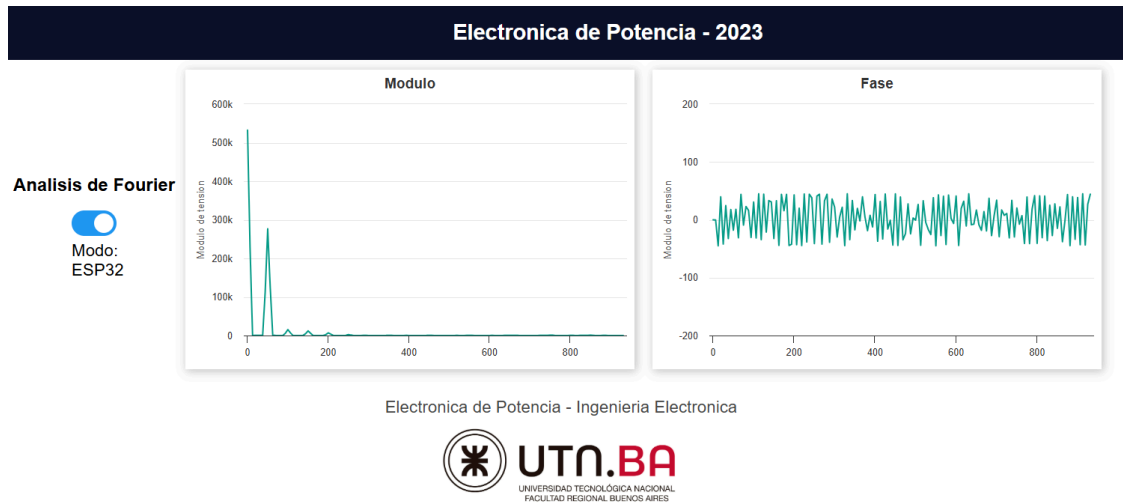
Como siguiente paso, debíamos conseguir muestrear esta señal en un pin ADC del ESP32. Para realizar esta medición entró en juego la "Placa ESP32", donde se ajustaron los preset RV1 y RV2 para tener la señal acondicionada.



Una vez conseguida la señal requerida se pasó a muestrearla con el pin 35 del ESP32. Se utilizó el software brindado por la cátedra para ver la señal en forma temporal y frecuencial analizada por el microcontrolador. Con dicho software, usando los modos Osciloscopio y FFT, se levantaron estos gráficos.

Electronica de Potencia - 2023

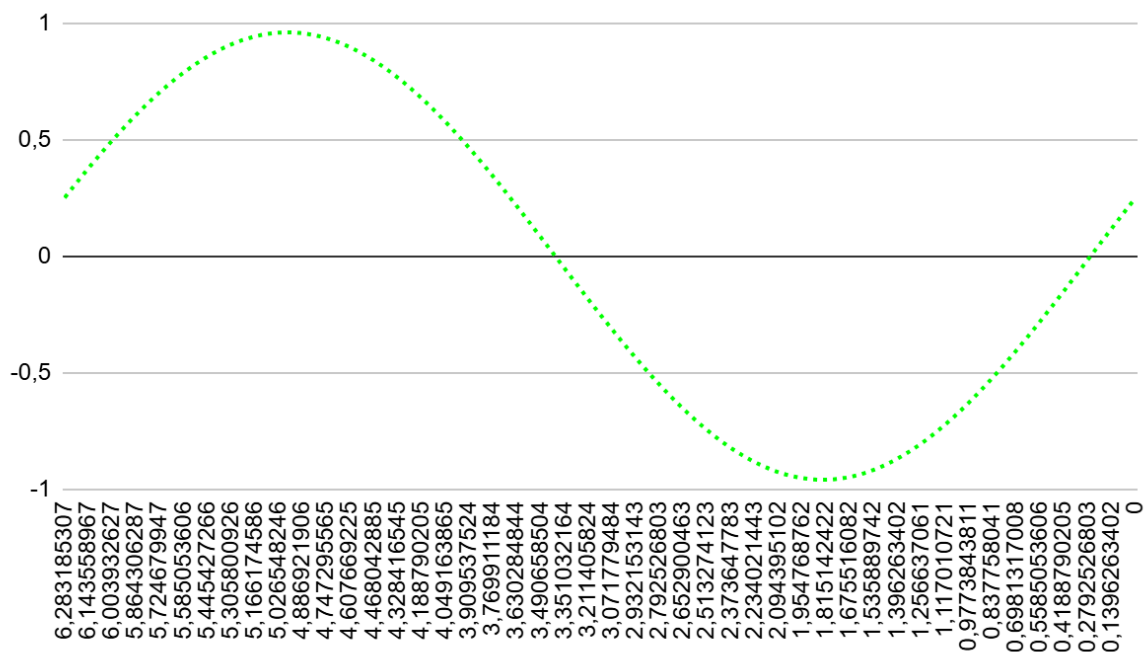




Reconstrucción de la señal

Para reconstruir la señal, usamos los primeros 10 armónicos de 50Hz (hasta 500Hz). Pueden ver el detalle de la reconstrucción en la hoja de cálculo de los entregables. Si bien se deberían incluir todos los armónicos, se decidieron incluir estos ya que son lo que tienen la mayoría de la potencia de la señal

Reconstruccion señal con transformador de hierro laminado



Enlace video

<https://youtu.be/8Is0YnwDtWU>



Conclusiones

Utilizando un transformador con núcleo de ferrita inicialmente no se podría hacer un inverter, al menos con los que hemos usado (reutilizados de fuentes SMPS). Esto creemos que se debe a que las pérdidas en el núcleo para la frecuencia fundamental la cual queremos filtrar (50Hz) termina siendo muy baja en amplitud. Una posible solución que hemos pensado sería aumentar la cantidad de cobre para darle más vueltas al primario y secundario (utilizando la misma relación de transformación) para lograr un flujo magnético más fuerte como en los transformadores de hierro laminado.

Referencias

- 800VA Pure Sine Wave Inverter's Reference Design (Texas Instruments) - <https://www.ti.com/lit/an/slaa602a/slaa602a.pdf>
- EG002 datasheet - <https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/1132081/EGMICRO/EGS002.html>
- Apunte Inversores - Juan Pablo Vales