



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

IMPLEMENTACIÓN DE UN MÓDULO GENERADOR DE SEÑALES, OSCILOSCOPIO Y ANALIZADOR DE ESPECTROS PARA MEJORAR EL PROCESO ENSEÑANZA APRENDIZAJE DE LOS ESTUDIANTES, MEDIANTE TECNOLOGÍAS DE BAJO COSTO.

Autor: Christian Paúl Chasi Cajas

Directora: Ing. Amparo Meythaler N.

Departamento de Eléctrica y Electrónica, Carrera de Ingeniería Electrónica e Instrumentación.



OBJETIVOS

Objetivo General

- Implementar un módulo generador de señales, osciloscopio y analizador de espectros, para mejorar el proceso enseñanza aprendizaje de los estudiantes, mediante tecnologías de bajo costo.



OBJETIVOS

Objetivos Específicos

- Investigar acerca de los componentes y requerimientos que se necesitan en un generador de señales, osciloscopio y analizador de espectros para garantizar su correcto funcionamiento.
- Diseñar y construir el hardware requerido para la adquisición, conversión, acondicionamiento de señales y envío de datos a la interfaz de usuario.
- Realizar el procesamiento requerido para cada una de las señales mediante una tarjeta de aplicación.



Objetivos Específicos

- Desarrollar una interfaz de visualización utilizando una pantalla de visualización a color para mostrar la forma de onda y los valores típicos de las señales medidas y las características de señales generadas.
- Validar el generador de señales, osciloscopio y analizador de espectro de bajo costo, mediante la comparación con generadores, osciloscopios comerciales y el último mediante una aplicación realizada en el software Matlab R2018b.



INTRODUCCIÓN

El osciloscopio es un sistema que captura diferentes señales eléctricas y electrónicas, que se obtienen en forma de diferencia de potencial o tensiones, con el objetivo de estudiarlas en una pantalla, como una PC u ordenador portátil.

El generador de ondas es un dispositivo electrónico que produce ondas senoidales, cuadradas, triangulares, TTL; sus aplicaciones incluyen pruebas y calibración de sistemas de audio, ultrasónicos, servos, entre otros.

El generador de ondas es un dispositivo electrónico que produce ondas senoidales, cuadradas, triangulares, TTL; sus aplicaciones incluyen pruebas y calibración de sistemas de audio, ultrasónicos, servos, entre otros.



Los dispositivos mencionados anteriormente son muy importantes en los laboratorios de las Universidades, cuyos fines pueden ser industriales, académicos o de investigación, son fundamentales para la generación y medición instantánea de algunas variables eléctricas y electrónicas de circuitos análogos y digitales que son visibles en una pantalla.



ESPE
ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO
CAMINO A LA EXCELENCIA

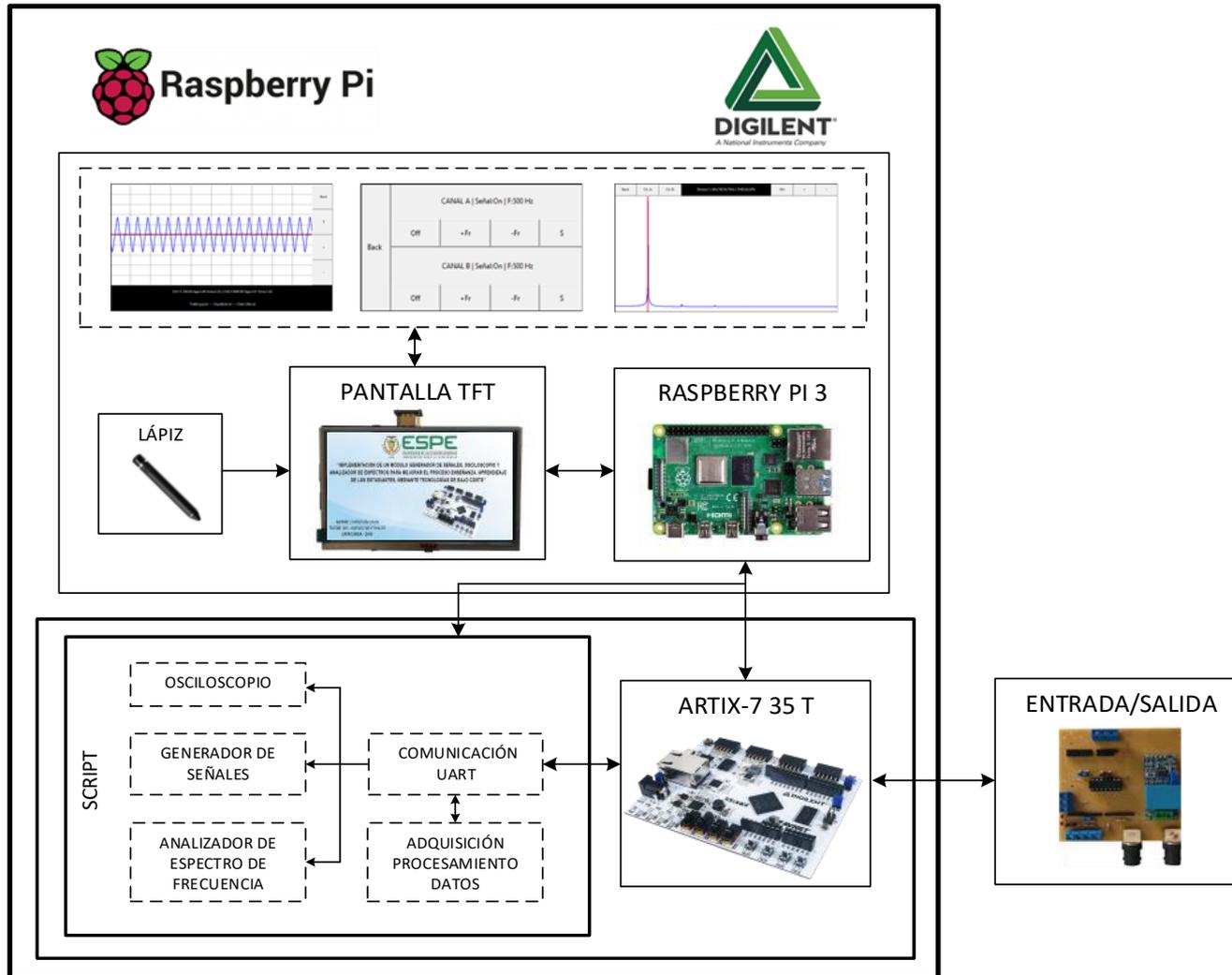
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En los laboratorios de la Universidad, no existe el número adecuado de osciloscopios, generadores de onda, y mucho menos equipos analizadores de espectro de frecuencia, a pesar de que son herramientas fundamentales e indispensables para la docencia y la investigación.

Cada uno de los equipos mencionados son ampliamente utilizados en cursos de experimentación, mecánica, ingeniería y otros campos, pero presentan algunos inconvenientes, como el costo de adquisición en el mercado que es muy elevado, el gran tamaño de los equipos que los hace difíciles de transportarlos, formas de configuración complejas, entre otros.

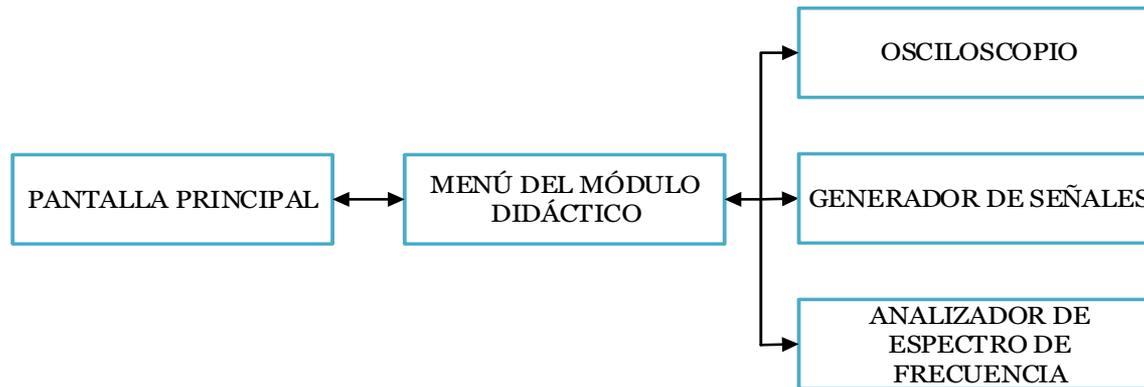


PROPUESTA

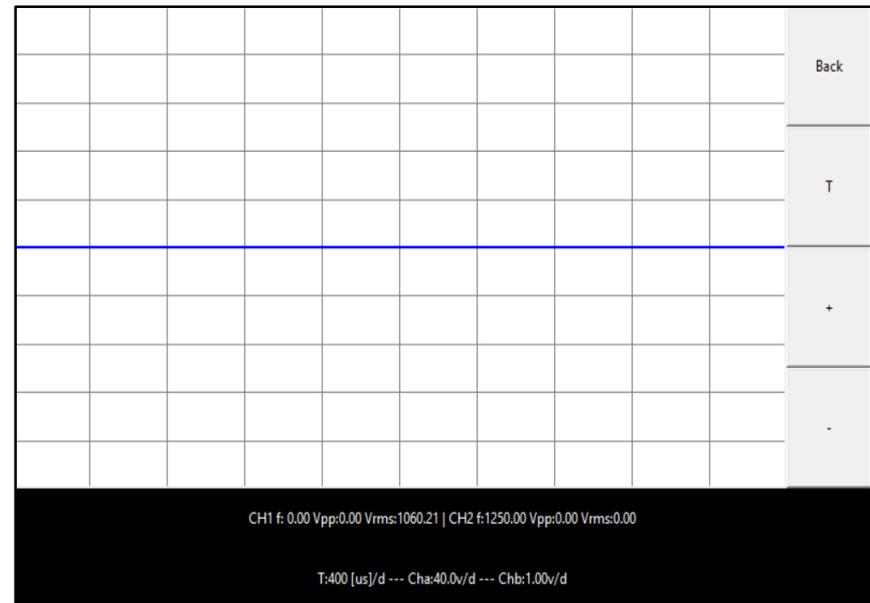
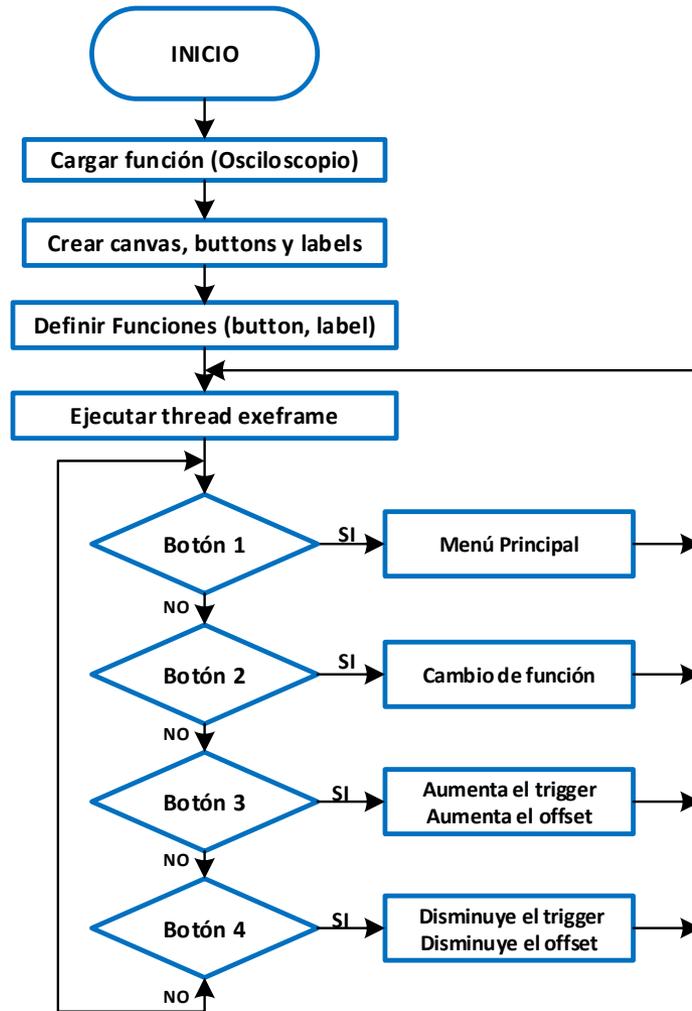


Diseño e implementación de los HMI`s

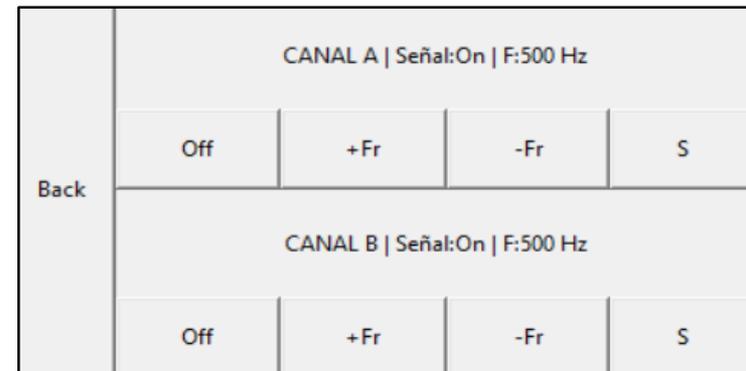
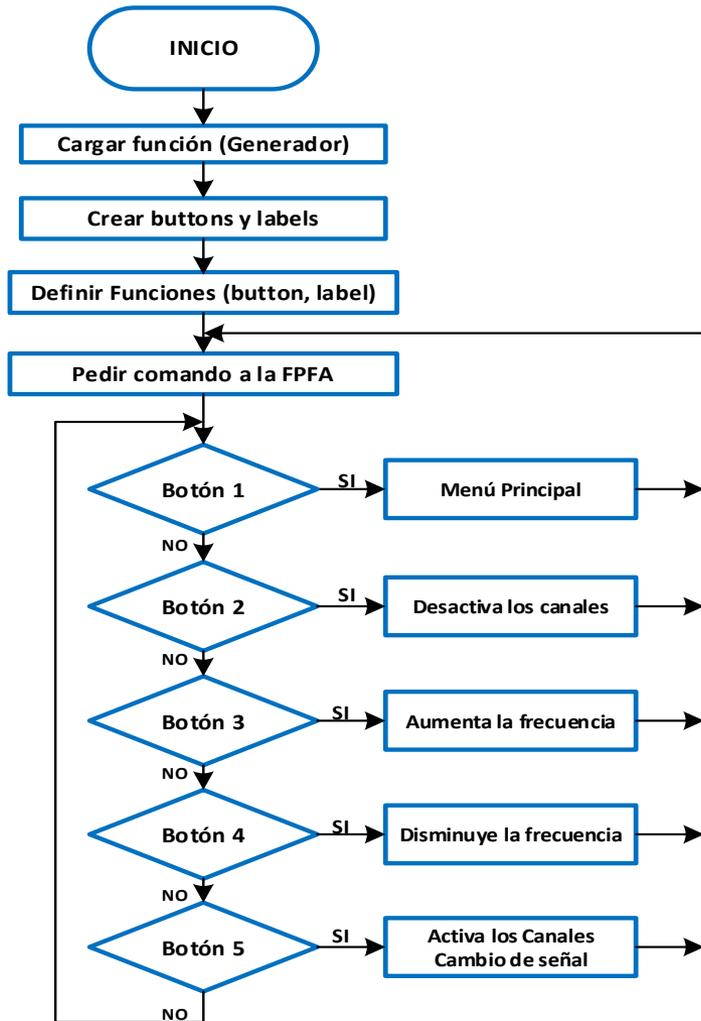
El sistema implementado se basa en una arquitectura de interacción intuitiva para el usuario; a través de una pantalla TFT embebida en una Raspberry Pi 3.



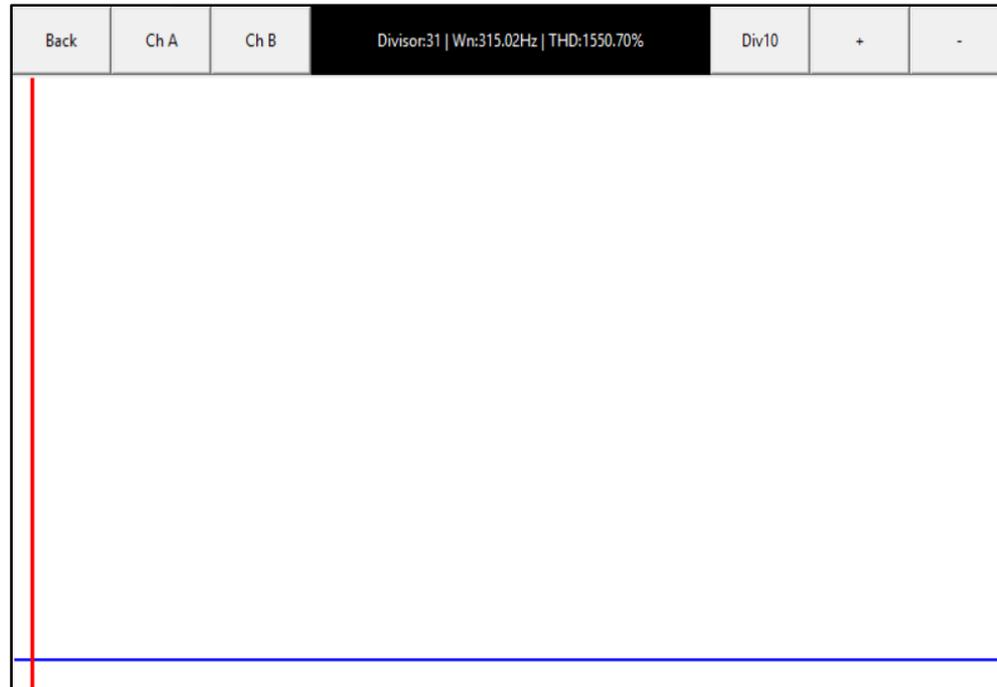
Diseño del HMI del osciloscopio



Diseño del HMI del generador de ondas



Diseño del HMI del analizador de espectro de frecuencia

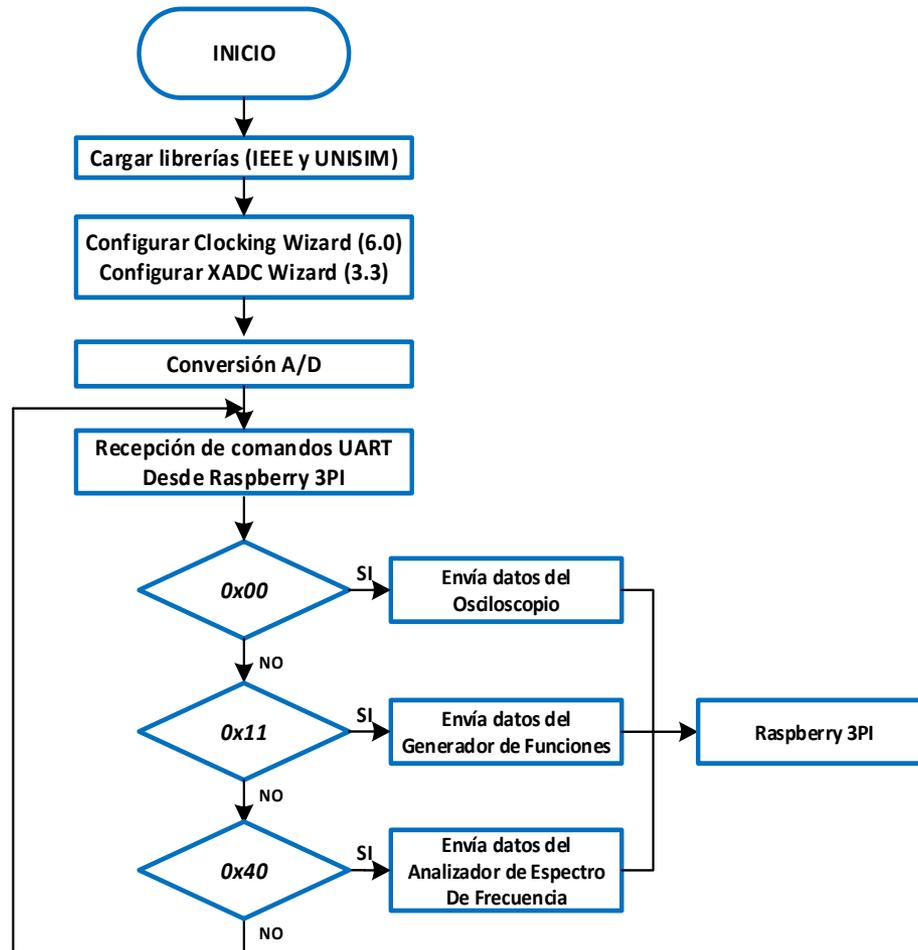


Selección de la tarjeta de aplicación

Características	Arduino Due	Raspberry 3PI Modelo B	Artix-7 35T
Procesador	ARM Cortex-M3 24-bit	Broadcom BCM2837, Cortex-A53 (ARMv8) 64-bit SoC	MicroBlaze-RISC 32 bits
Conversor DAC	1 DAC de 12 bits 1Msps	No disponible Módulo PCF8591T	1 DAC de 104Mhz 1 DAC de 100 Mhz 1Msps
Memoria	256-512 Kbytes Flash 32-100 Kbytes SRAM 16 Kbytes ROM 4 Kbyte RAM	1GB LPDDR2 SDRAM	DDR3L de 256MB-bus de 16 bits a 667MHz 16MB Quad-SPI Flash
Frecuencia de operación	84 MHz	1,2 GHz	450 Mhz
Conectividad	USB 2.0 Device/Mini Host Ethernet MAC 10/100 (EMAC)	2.4GHz IEEE 802.11.b/g/n Bluetooth 4.1 Fast Ethernet 10/100 Gbps	10/100 Mbps Ethernet Puerto USB-UART
Interfaces de comunicación	4 USARTs 1 UART 2 TWI 6 SPIs 2 CAN 1 I2C 1 HSMCI	4 Puertos USB 1 I2C 1 UART 1 SPI 1 HDMI	UART USB 2.0 Quad SPI GPIO PWM



Diseño e implementación en VHDL



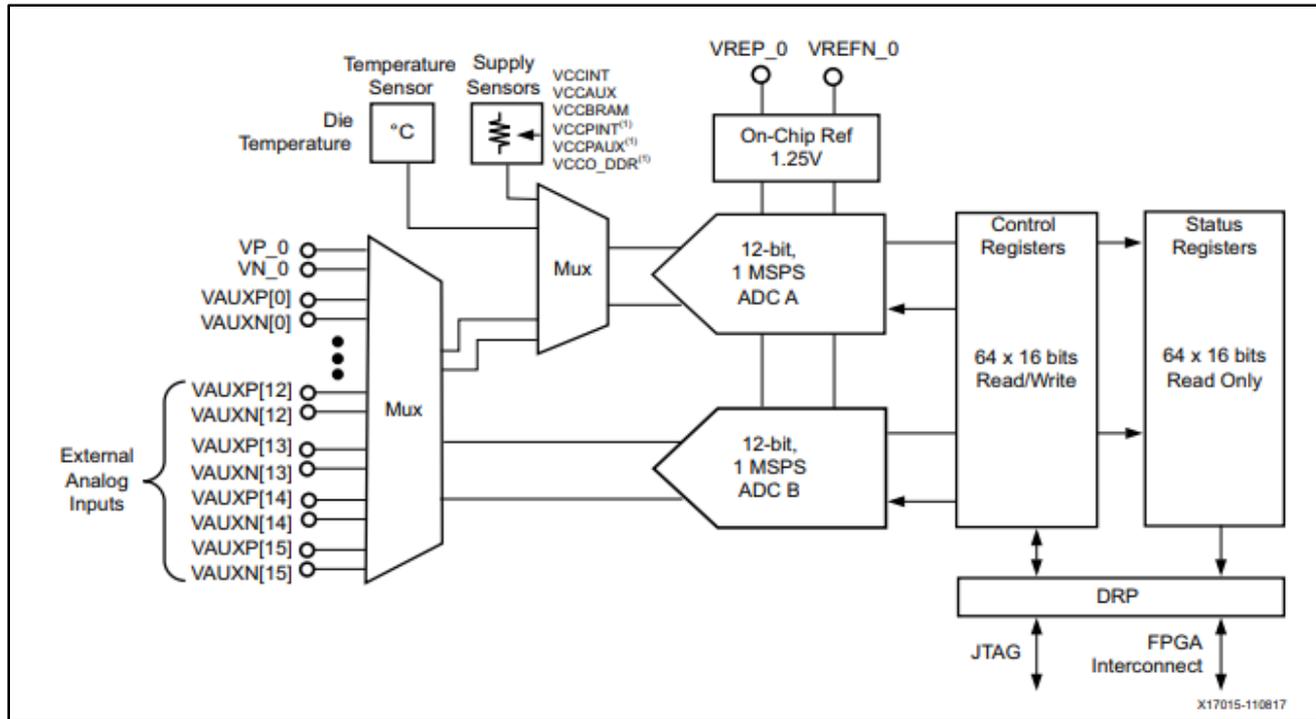
Conversión A/D

Para configurar al módulo XDAC se debe escribir en los registros de configuración (40h a 42h), registros de prueba (43h a 47h), registros del sentenciador de canales (48h a 4fh) y registros de alarma (50h a 51h). Por la gran cantidad de registros que se debe configurar Xilinx ofrece una IP llamada XADC WIZARD para configurar el módulo XADC, este software genera automáticamente los códigos en VHDL.

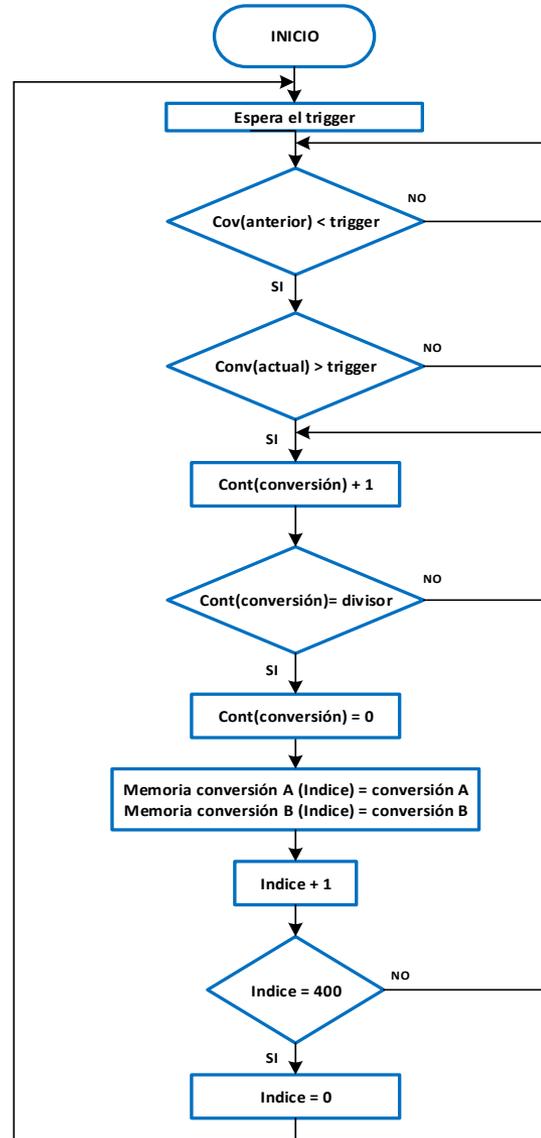
Las opciones principales que se emplean son la interfaz DRP del módulo que será utilizado para obtener la información de las conversiones, la opción de selección simultánea para tener acceso a los dos conversores que integran al módulo XADC al mismo tiempo y la frecuencia de 104 Mhz necesaria para obtener una frecuencia de conversión de 1000 KSPS.



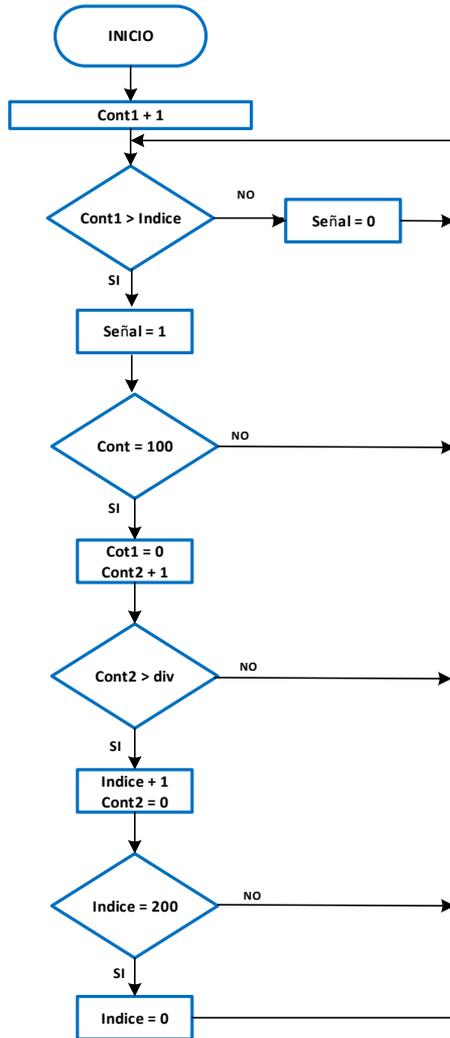
Conversión A/D



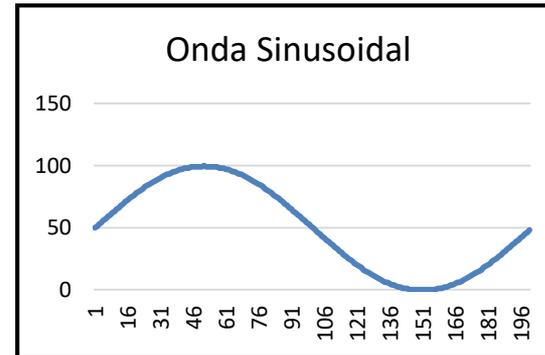
Programación del Osciloscopio



Programación del Generador de Funciones



Sinusoidal	Cuadrada	Triangular	Apagar
50	0	0	0
51	0	1	0
53	0	2	0
54	100	3	0
56	100	4	0
57	100	5	0
59	100	6	0
60	100	7	0
62	100	8	0
63	100	9	0
65	100	10	0
68	100	11	0
69	100	12	0
71	100	13	0
72	100	14	0
74	100	15	0
75	100	16	0
76	100	17	0



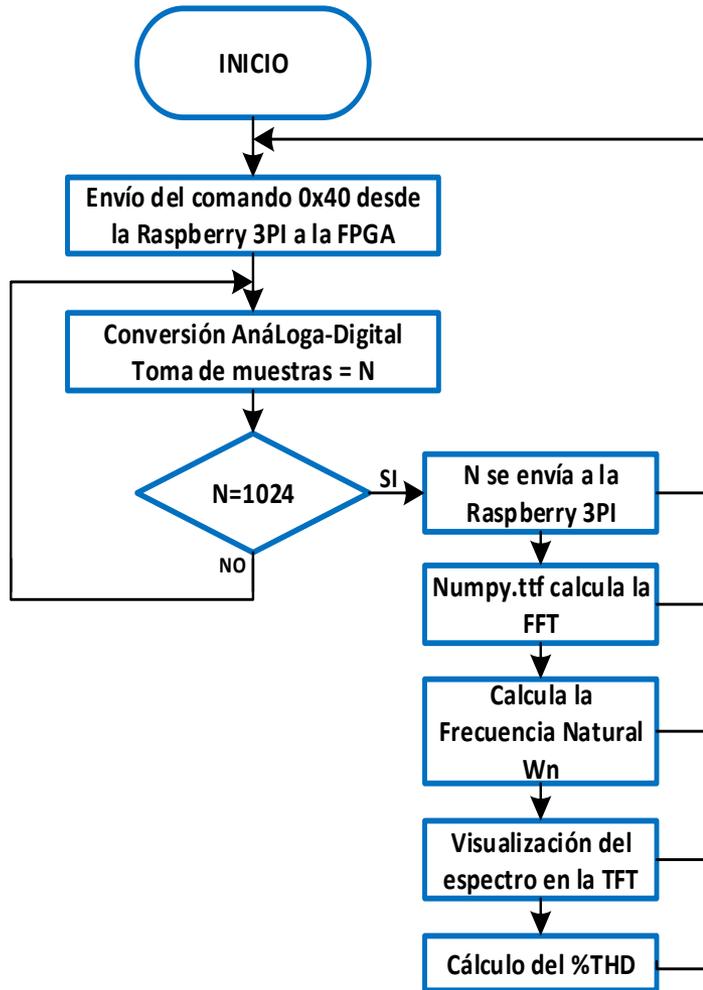
Programación del Analizador de Espectro de Frecuencia

Para la programación del analizador de espectro de frecuencia se utilizó el algoritmo de Cooley-Tukey, que define a las señales periódicas existentes como la suma de las series de Fourier, siempre que sean de duración finita, y que se las denomina Transformada de Fourier Discreta (DFT).

La función (*numpy.fft*) propia del software Python, que describe las ecuaciones matemáticas descritas en la sección anterior, el resultado sigue un orden, y realiza el cálculo de la FFT utilizando las 1024 muestras posteriormente son enviadas a la Raspberry 3PI mediante el puerto serial, el algoritmo realiza las operaciones necesarias para obtener el valor de la frecuencia en el pico más alto del espectro, y se visualizará la FFT como armónicos para las diversas señales ingresadas en las entradas del módulo.



Programación del Analizador de Espectro de Frecuencia



$$THD_V = \frac{\sqrt{\sum_{h \neq 1} V_h^2}}{V_1} \cdot 100\%$$



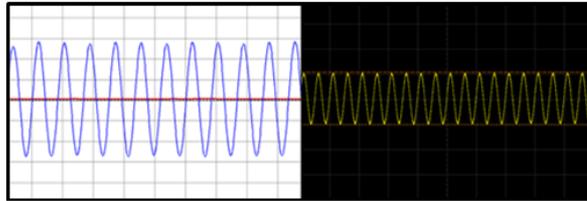
PRUEBAS Y RESULTADOS



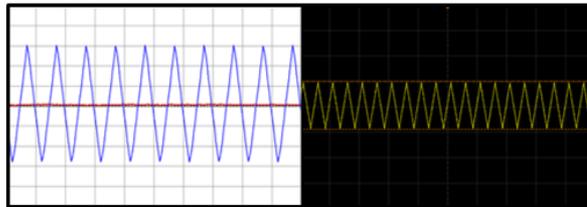
ESPE
ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO
CAMINO A LA EXCELENCIA

PRUEBAS Y RESULTADOS

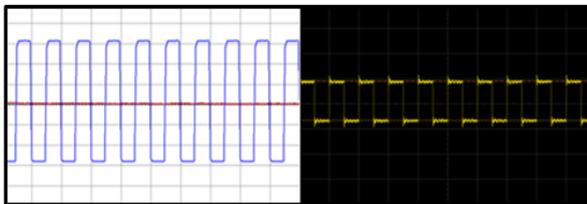
Osciloscopio



a) 300 KHz

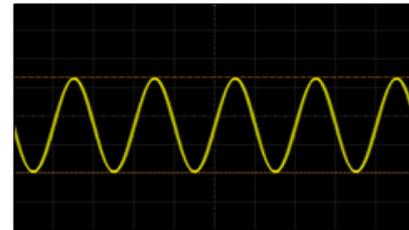


b) 80 KHz

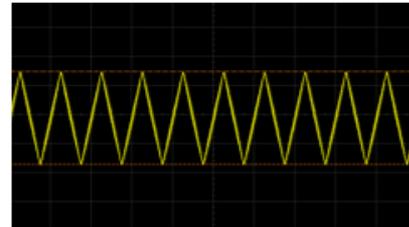


c) 100 KHz

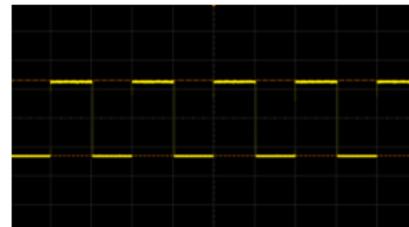
Generador de Ondas



a) 100 Hz



b) 1KHz

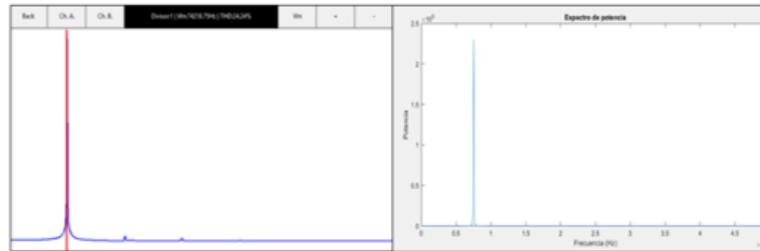


c) 5KHz

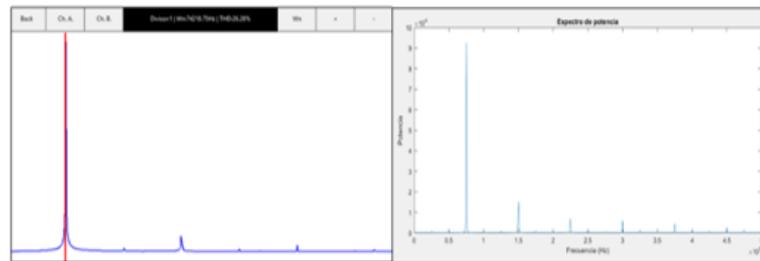


PRUEBAS Y RESULTADOS

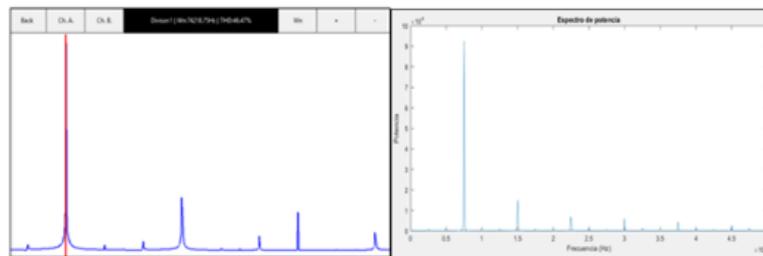
Analizador de espectro de frecuencia



a) Armónicos obtenidos de una señal sinusoidal a 75 KHz



b) Armónicos obtenidos de una señal triangular a 75 KHz



c) Armónicos obtenidos de una señal cuadrada a 75 KHz



PRUEBAS Y RESULTADOS

Comparación de errores de las mediciones de las ondas generadas en el equipo Agilent 33500B utilizando el osciloscopio del módulo y el equipo Agilent DSO-X 5014^a

Formas de onda	Agilent DSO-X 2014 ^a			Módulo Didáctico		
	%Error Total (Fr)	%Error Total V_{PP}	%Error Total V_{RMS}	%Error Total (Fr)	%Error Total V_{PP}	%Error Total V_{RMS}
Sinusoidal	0.102	0.006	0.03	0	0.088	0.03
Triangular	0.15	0.1	0.015	0	0.125	0.02
Cuadrada	0.688	0.04	0.58	0	0.17	0.544

Comparación de errores de las mediciones de la red entre el osciloscopio del módulo y el osciloscopio DSO-X 2014^a

Señal de la Red	Agilent DSO - X 2014A			Módulo Didáctico		
	%Error Total (Fr)	%Error Total V_{PP}	%Error Total V_{RMS}	%Error Total (Fr)	%Error Total V_{PP}	%Error Total V_{RMS}
Sinusoidal	0.03	1.4	0.08	0	0.45	0.89



PRUEBAS Y RESULTADOS

Comparación de errores de las mediciones de las ondas generadas en el canal A del módulo utilizando el osciloscopio del módulo y el equipo Agilent DSO-X 5014^a

Formas de Ondas	Agilent DSO – X 2014A		Módulo Didáctico	
	%Error Total (Fr)	%Error Total (V)	%Error Total (Fr)	%Error Total (V)
Sinusoidal	0.076	0.034	0	0.21
Triangular	0.318	0.004	0	0.204
Cuadrada	0.07	0.2	0	0.342

Cálculo del error del %THD de una onda cuadrada

Nº de mediciones	Frecuencia Generada (Hz) 33500B	THD Módulo	THD Matlab	%Error THD Módulo
0	10000	26.66	25.89	0.77
1	50000	22.91	21.99	0.92
2	75000	26.40	26.00	0.40
3	100000	36.28	35.69	0.59
%Error Total				0.67



PRUEBAS Y RESULTADOS

Análisis de costos de los equipos del laboratorio

Cantidad	Detalle	Valor Unitario (Dólares)	Valor Total (Dólares)
1	Osciloscopio Agilent DSO-X 2014 ^a	5000,00	5000,00
1	Generador de onda Agilent 33500B	2000,00	2000,00
Total			7000,00

Análisis de costos del módulo didáctico

Cantidad	Detalle	Valor Unitario (Dólares)	Valor Total (Dólares)
1	Tarjeta Artix-7 35T	119,00	119,00
1	Raspberry 3PI	50,00	50,00
1	TFT de 5 pulgadas	65,00	65,00
1	Punta	5,00	5,00
-	Dispositivos Electrónicos	20,00	20,00
1	Estructura del módulo	11,00	11,00
Total			270,00



CONCLUSIONES

- Se diseñó un módulo didáctico, que presenta las opciones de osciloscopio, generador de funciones y analizador de espectro de frecuencia, basados en los elementos constitutivos de cada uno, utilizando elementos de bajo costo.
- Se implementó el hardware para la adquisición de las señales (sinusoidal, triangular y cuadrada) para Corriente continua y para Corriente alterna, la conversión y acondicionamiento de cada una de las señales se lo realizó en la FPGA Artix-7 35 T, para el generador de señales se obtuvieron frecuencias de 1Hz a 5KHz, en el osciloscopio se puede medir frecuencias hasta los 500KHz. la visualización para la onda senoidal se puede



CONCLUSIONES

- observar desde un rango de frecuencias de 1Hz hasta los 425 KHz para la onda cuadrada desde 1Hz hasta los 100Khz y para la onda triangular desde 1Hz hasta los 100 KHz, utilizando los métodos de interpolación implementados en el módulo, y en el analizador de espectro, se puede observar los armónicos y el valor de la distorsión armónica para cada señal ingresada al módulo.
- Se realizó el procesamiento necesario para cada una de las señales, se utilizó el módulo XDAC, que fue configurado para tener acceso a los dos convertidores que integran al módulo al mismo tiempo, para seleccionar frecuencia de 104 Mhz necesaria para obtener una frecuencia de conversión de 1000 KSPS, con la finalidad de obtener una frecuencia de medición de 500KHz.



CONCLUSIONES

- La interfaz gráfica se desarrolló en la tarjeta Python 3PI, utilizando una TFT de 5 pulgadas se utilizaron los métodos de geometría de cuadrícula y posicionamiento relativo para ubicar cada uno de los buttons, labels y el canvas para cada sección del módulo.
- En las mediciones realizadas por el módulo, para cada una de las opciones se obtuvo un error menor a 1, demostrando así que el módulo implementado tiene gran similitud con los equipos comerciales, y que es de gran utilidad para los docentes y estudiantes de la Universidad de las Fuerzas Armadas-ESPE Sede Latacunga.



CONCLUSIONES

- Al aumentar el valor de la frecuencia el número de muestras disminuye, y al tener un tiempo de muestreo de 1us, se implementó dos tipos de interpolaciones la lineal para las ondas triangulares y cuadradas y la interpolación sinusoidal para las ondas sinusoidales, de esta forma se mejoró la visualización de las ondas a altas frecuencias.



GRACIAS



ESPE
ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO
CAMINO A LA EXCELENCIA