

# Development of virtual instrumentation applied to telecommunications laboratories using the Red Pitaya board

Giusseppe Perretti, Robert Fernández, Carlos Mejías y Carlos Aponte\*

*Escuela de Ingeniería de Telecomunicaciones, Facultad de Ingeniería, Universidad de Carabobo, Valencia, Venezuela.*

**Abstract.-** A teaching telecommunication lab requires equipment endowment such as spectrum analyzers, impedance analyzers, oscilloscopes, signal generators, function generators, and time-domain reflectometers, which means expensive funding for the universities to invest in these types of equipment. However, thanks to the built-in data-acquisition-and-signal-generation platform called Red Pitayas, it is possible to develop a low-cost workbench, which represents an opportunity for universities that cannot afford large fundings for equipment endowment. The teaching laboratories of the Telecommunication school at the University of Carabobo require workbenches through virtual instrumentation to help the students during the equipment training, achieving an effective way to the issues relate to resource generations, researching, and teaching.

**Keywords:** instrumentation; virtual; Red Pitaya.

## Desarrollo de instrumentación virtual aplicada a laboratorios de telecomunicaciones usando la tarjeta Red Pitaya

**Resumen.-** Un laboratorio de telecomunicaciones requiere una dotación de equipos de medición tales como el analizador de espectro, analizador de impedancia, osciloscopio, generador de señales, generador de funciones y reflectometría temporal. Para adquirir estos equipos las universidades deben invertir miles de dólares en equipamiento especializado. Gracias a la tarjeta comercial Red Pitaya es posible desarrollar un banco de trabajo con un coste de cientos de dolares lo que representa una oportunidad de ahorrar en la dotación de laboratorios. En el caso de los laboratorios de la Escuela de Telecomunicaciones de la Universidad de Carabobo, se requiere que los bancos de trabajo desarrollados con instrumentación virtual faciliten el entrenamiento en equipos de medición y que se alcancen de manera eficaz los propósitos relacionados con la generación de recursos, investigación y docencia.

**Palabras claves:** instrumentación; virtual; Red Pitaya.

Recibido: abril 2018

Aceptado: mayo 2018

### 1. Introducción

El desarrollo de una variedad de herramientas virtuales que pretenden ser instrumentos flexibles para adaptarse a las necesidades de aprendizaje del estudiante ha beneficiado a carreras como la ingeniería [1]. Entre estas herramientas virtuales que se han creado para facilitar la comprensión

de los fenómenos estudiados en los laboratorios de las distintas ramas de la ingeniería se encuentran: laboratorios remotos, laboratorios virtuales, instrumentación virtual, entre otros [2], donde la instrumentación virtual es la que más se asemeja a los laboratorios tradicionales, ya que está constituida por un software y un hardware, que permiten emular equipos físicos, y además son una solución económica frente a los altos precios de los equipos de medición utilizados en los laboratorios [2]. En este sentido, en el 2001 *National Instrument* define la instrumentación virtual como un sistema de adquisición, procesamiento y presentación de señales físicas desde una computadora a través de

\*Autor para correspondencia:

Correo-e: caponte@uc.edu.ve (Carlos Aponte Dezzeo)

instrumentos virtuales o interfaces dedicadas.

A medida que evolucionan las tecnologías de información y comunicación (TIC), se presentan mayores posibilidades de que las Universidades puedan crear nuevos contenidos educativos, con el propósito de generar mejores experiencias en las aulas de clases y laboratorios que faciliten los procesos aprendizaje [3]. Sin embargo, ha quedado demostrado que un programa de aprendizaje apoyado en las TIC, debe estar fundamentado con un plan de estrategias pedagógicas que apunten a satisfacer necesidades específicas de aprendizaje en el alumno con el fin de aprovechar al máximo este tipo de herramientas [4, 1].

En la Universidad de Carabobo, específicamente en la escuela de Ingeniería de Telecomunicaciones, se realizaron trabajos para potenciar los módulos básicos de la Red Pitaya y el uso de instrumentación virtual[5, 6], pero no se utilizaban debido a que se requería el desarrollo de equipos adicionales para completar los bancos de trabajo. Adicionalmente no existía un plan definido que incluyera la IV en las diferentes prácticas de laboratorio. Así nace la necesidad de desarrollar nuevo equipamiento en la Red Pitaya y elaborar un material didáctico que sea efectivo para el aprendizaje, lo cual representa un ahorro de miles de dólares en equipamiento y establece las bases para implementar centros de entrenamientos bajo esta metodología en cualquier institución, pública o privada.

## 2. Metodología

### 2.1. Elaboración de Instrumentos Virtuales

La Red Pitaya es una tarjeta de instrumentación de bajo costo, diseñada para utilizarse como instrumento de medida y de control. Cuenta con un textSystem On Chip (SOC) Xilinx Zynq 7010, este contiene un procesador de doble núcleo ARM9 que permite ejecutar el sistema operativo Linux, además, el chip contiene una FPGA disponible para realizar el procesamiento digital de señales. Para la adquisición y generación de señales esta incluye ADCs y DACs de 125Mpsps, permitiendo procesar señales hasta los 50 MHz con una resolución de 14-bit. La interfaz física de la tarjeta cuenta con 2 puertos de entradas y 2 puertos de salidas, todos con

conectores estándar tipo SMA-F, así como también un puerto Ethernet por el cual se puede conectar a una red y acceder al a través de un navegador e interactuar con la tarjeta mediante una interfaz gráfica, así como la mostrada en la Figura 1. En dicha interfaz se puede acceder a las aplicaciones ya precargadas o bien se pueden desarrollar nuevas aplicaciones, como las implementadas en este trabajo, ya que es un sistema de código abierto [7].

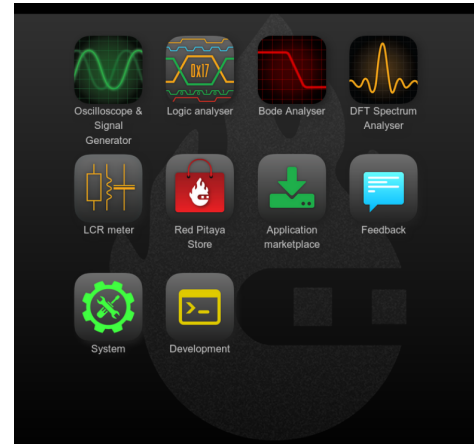


Figura 1: Menú principal de aplicaciones de la Red Pitaya. Fuente: <https://www.redpitaya.com/>

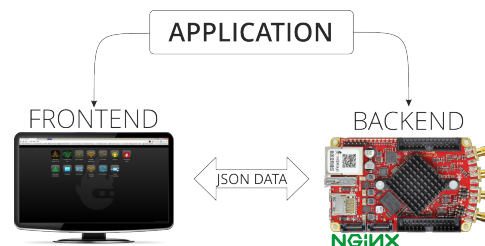


Figura 2: Etapas de una aplicación desarrollada en la plataforma Red Pitaya. Fuente: <https://www.redpitaya.com/>.

Las aplicaciones de Red Pitaya están compuestas por 2 etapas, el *Frontend* y el *Backend*, así como se plantea en la Figura 2. Dichas etapas deben ser completadas correctamente para poder ejecutar las aplicaciones desde el navegador. El *Frontend* de la aplicación es todo aquello que el usuario visualiza, en otras palabras, es la interfaz ejecutada desde

el navegador. En ella se muestra la data recibida de la tarjeta, así como también los parámetros que pueden ser manipulados por el usuario, los cuales son necesarios para la configuración del procesamiento y control de datos por parte de la Red Pitaya.

Para el diseño de la interfaz se cuenta con las herramientas de programación que prestan los lenguajes de programación HTML5, CSS y JavaScript, donde HTML5 adecua la disposición de los elementos mostrados en pantalla, CSS agrega el estilo visual de los elementos y JavaScript facilita la creación de aplicaciones rápidas y confiables. Se tomo en cuenta la opinión de los encuestados y la interfaz es lo mas parecida posible al equipo fisico.

Por otro lado el *Backend*, a diferencia del *Frontend*, el usuario no tiene acceso a este código directamente, sin embargo, conforma el núcleo de la de la aplicación. En el ocurre todo el procesamiento que la tarjeta realiza para llevar a cabo las operaciones solicitadas por la aplicación. El código que conforma esta etapa es incluido en un controlador. Dicho controlador es un archivo de extensión .so o una librería compartida de Linux. El controlador opera con dos objetos importantes, que son: las señales y los parámetros, donde las señales son los contenedores de toda la data almacenada en el *buffer* de la FPGA, mientras que los parámetros contienen las variables que operan sobre las diferentes funciones de la tarjeta o APIs (Application programming interface).

Las APIs de Redpitaya son una librería de funciones que sirven como enlace entre el controlador y la FPGA, ver Figura 3. Estas permiten que el controlador modifique los registros de la FPGA, y este a su vez, controla todo el hardware de la tarjeta, bien sea el ADC, DAC, pines GIOP, y leds.

En la Figura 4 se muestra un esquema del proceso que ocurre al iniciar una aplicación desde la interfaz web. En la primera fase, el servidor Nginx se encarga de cargar la imagen de FPGA requerida y el controlador necesario para operar la aplicación iniciada. A Partir de aquí el servidor establece la comunicación entre interfaz web y controlador a través de un archivo de texto con formato JSON. Este archivo JSON contiene los dos objetos antes

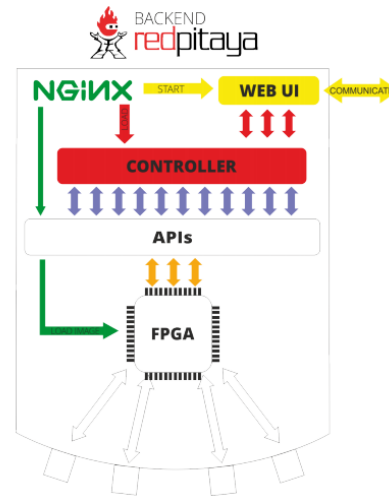


Figura 3: Esquema de funcionamiento de la Red Pitaya. Fuente: <https://www.redpitaya.com/>.

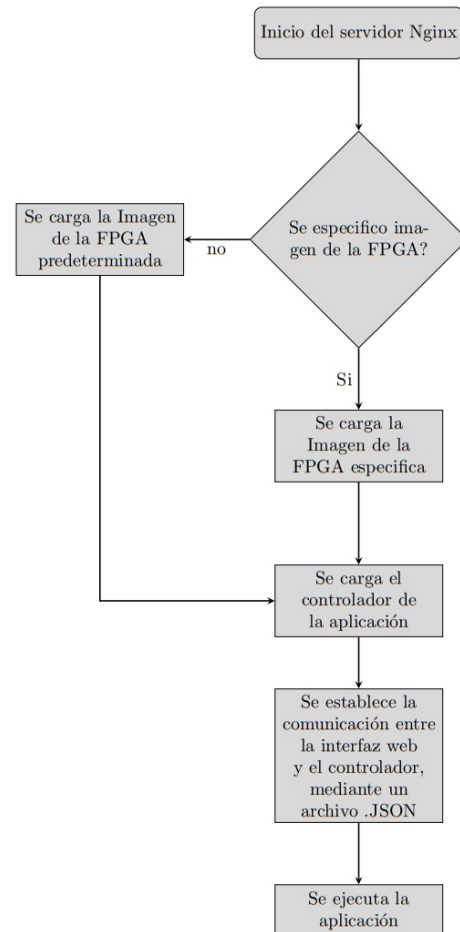


Figura 4: Diagrama de inicio de una aplicación.

mencionados, que son las señales y los parámetros. Por último, la aplicación es iniciada y el usuario empezara a recibir la información requerida.

El laboratorio de Instrumentación Electrónica (LIE) consta de 3 prácticas que abarcan el uso de 5 equipos: osciloscopio, analizador de espectro, analizador de impedancia, generador de funciones y generador de señales. Mientras que el Laboratorio de Sistemas de Ondas Guiadas (LSOG) consta de 5 prácticas en las cuales se requieren de los siguientes equipos: analizador de impedancia, analizador de espectro, reflectómetro de dominio de tiempo (TDR), generador de señales y generador de funciones.

Haciendo la comparación con las aplicaciones elaboradas empleando Red Pitaya en el trabajo de grado [5], se decidió desarrollar las aplicaciones correspondientes a: generador de señales y TDR. Convirtiendo a la tarjeta Red Pitaya en un banco de trabajo donde están operativos todos los equipos necesarios para alcanzar los objetivos de cada práctica de laboratorio, tomando en cuenta las limitaciones físicas de la tarjeta.

El generador de señales es utilizado en las prácticas de LIE, cuyos objetivos son la caracterización de señales moduladas AM y FM en los dominios del tiempo y de la frecuencia. Dichos objetivos pueden ser realizados con la aplicación desarrollada del generador de señales. En el caso del LSOG, el TDR se emplea para determinar las fallas a lo largo de un cable en estudio, así como también la caracterización de una línea de transmisión conectando cargas conocidas en el extremo de la línea. Todo esto a través de diferentes métodos de medición que pueden ser implementados mediante la aplicación desarrollada en la tarjeta Red Pitaya de la misma forma que se realizan en el equipo físico. Para evaluar el nivel de conocimiento teórico y práctico en el manejo de los equipos utilizados en los laboratorio, se realizó una encuesta diagnóstica a los estudiantes de la Escuela de Telecomunicaciones de la UC. Esto con el fin de sustentar la elaboración de los distintos materiales didácticos e interfaces que componen las aplicaciones de Red Pitaya. Durante todas las fases del proyecto se realizaron encuestas

para medir la efectividad de la metodología implementada.

Para aplicar el material didáctico a los grupos de estudiantes en los que se divide una sección de Laboratorio se coordinó con los profesores asignados a las secciones del laboratorio de Instrumentación Electrónica y del laboratorio de Sistemas de Ondas Guiadas. Cada grupo inicia la práctica en la primera semana con el instrumento virtual, en la semana siguiente continua los objetivos de la práctica con el instrumento tradicional. Se indicó en cada práctica cuales objetivos son realizables empleando la instrumentación virtual de acuerdo con las limitaciones que posee la Red Pitaya y se facilitó el material didáctico desarrollado. Se seleccionó una única sección que sólo trabajó con el instrumento tradicional la cual fue tomada como grupo de control.

## 2.2. *Evaluación de la eficacia de la Instrumentación Virtual*

Para comprobar la eficacia de la implementación de instrumentos virtuales en el desarrollo de prácticas de laboratorio se emplearon encuestas con la finalidad de recolectar la información referente al conocimiento, usabilidad, utilidad, expectativas, metodología y herramientas empleadas en el desarrollo de la práctica empleando instrumentación virtual [8].

Consta de una fase previa, o Pre-Encuesta, que será tomada antes de iniciar la práctica del laboratorio; del mismo modo existe una fase posterior a la culminación de los objetivos de la práctica asignada donde se realiza una Post-Encuesta para contrastar la expectativa del estudiante con base en los criterios mencionados además de las perspectivas visuales de la interfaz desarrollada en el instrumento virtual [8, 9]. El tipo de encuesta desarrollada fue de respuesta cerrada de elección única y dicotómica.

Para que una herramienta de recolección de datos sea fiable con la respuesta que se obtenga es necesario realizar el proceso de confiabilidad del instrumento. Para este caso, debido a que se trabajó con una encuesta del tipo dicotómica, se usó el modelo de Kuder-Richardson empleado a

ítems dicotómicos sobre 10 estudiantes ajenos a los cursos de IE y SOG ver Tabla 1.

Tabla 1: Confiabilidad de la encuesta.

| Encuesta | $V_t$ | $\sum pq$ | n  | $r_n$ |
|----------|-------|-----------|----|-------|
| Pre      | 4,62  | 1,88      | 10 | 0,66  |
| Post     | 11,12 | 3,35      | 19 | 0,74  |

$r_n$ : es el coeficiente de confiabilidad.

$V_t$ : es la varianza total de la encuesta.

n: es el número de encuestados.

$\sum pq$ : es la sumatoria de la varianza individual de los ítems.

Para considerar una encuesta confiable se debe cumplir que el coeficiente  $K - R_{20} > 0,6$ . En el caso de las encuestas empleadas, éstas cumplen los criterios necesarios para considerar la herramienta de recolección de datos como válida.

### 3. Análisis y discusión de resultados

#### 3.1. Comprobación de mediciones de las aplicaciones desarrolladas

##### 3.1.1. TDR

Se realizaron mediciones con los equipos tradicionales y se compararon los resultados con los módulos del TDR y del generador de señales desarrollados para la Red Pitaya en este trabajo.

La evaluación del módulo de TDR desarrollado para la Red Pitaya se realizó mediante la medición de la longitud de las líneas de transmisión coaxiales disponibles en el LSOG, utilizando las cargas en cortocircuito y en circuito abierto para visualizar el comportamiento temporal del extremo de la línea de transmisión. El mismo procedimiento se aplicó con la función de VSWR del Site Master S331C de Anritsu para determinar la longitud del cable. Al comparar ambos resultados, se observó que el resultado de la medición de la longitud de la línea de transmisión coaxial fue de 11,4 m ver Figuras 5 y 6. Así mismo, se realizó una segunda medición, donde se utilizó una línea de transmisión con diferente longitud y se obtuvo una longitud de 45,6 m para ambas mediciones (instrumento de medición y Red Pitaya).

##### 3.1.2. Generador de Señales

El módulo de generador de señales cuenta con 3 tipos de modulación: AM, FM, y PM. Para el

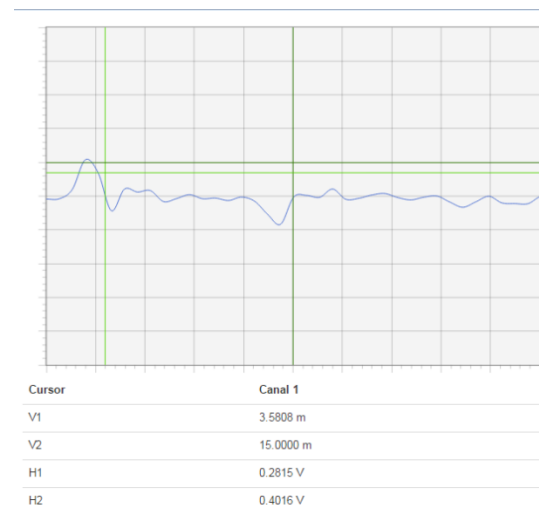


Figura 5: Medición de reflexiones en un cable RG-58 de 11m de longitud, con terminación en corto circuito, utilizando la aplicación TDR-UC.

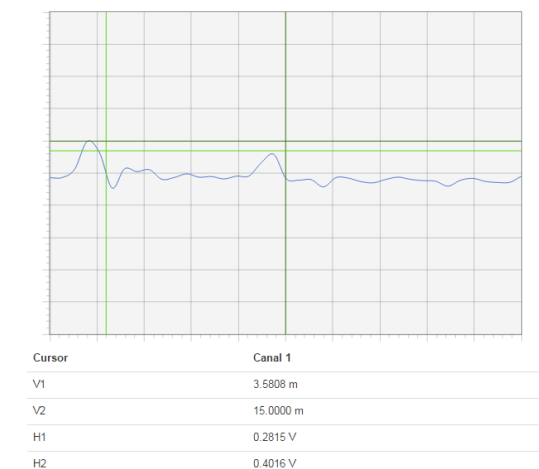


Figura 6: Medición de reflexiones en un cable RG-58 de 11m de longitud, con terminación en circuito abierto, utilizando la aplicación TDR-UC.

caso de la Señal AM se evalúa la precisión de la señal en el tiempo y la frecuencia en cuanto a amplitudes de señal moduladora, portadora e índice de modulación. En cambio, para las señales angulares FM y PM se analiza solo el en el dominio de la frecuencia ya que de esta manera se puede obtener información de cómo están dispuestas las líneas espectrales que componen la señal así como su frecuencia y ancho de banda, mientras que en el



dominio del tiempo es limitada la información que se puede obtener en este tipo de señales.

*Generador de Señal AM.* Empleando el instrumento virtual osciloscopio Red Pitaya UC se generó una señal AM con cuatro índices de modulación,  $m$ , para evaluar el comportamiento temporal de la señal ( $m = 30\%$ ,  $m = 50\%$ ,  $m = 80\%$  y  $m = 100\%$ ), ver ejemplo en Figura 7. En este sentido, se plantearon seis escenarios de medición con la finalidad de determinar el margen de error porcentual por cada índice de modulación. En la Tabla 2 se presentan los errores medidos, observando que el generador de señales AM tiene una alta precisión.

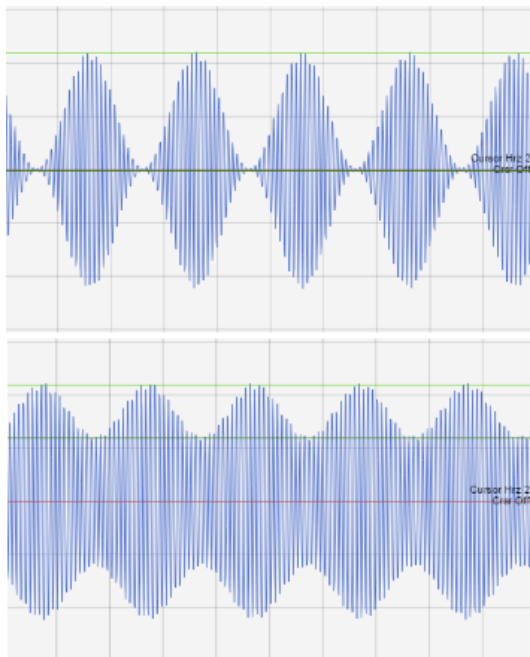


Figura 7: Forma de onda temporal para señal AM con distintos índices de modulación para  $f_C = 1MHz$ ,  $f_M = 1KHz$ .

Tabla 2: Errores de los índices de modulación AM empleados en los experimentos.

| $m$ | Media de valores medidos | Error porcentual |
|-----|--------------------------|------------------|
| 30  | 29,105                   | 2,98 %           |
| 50  | 50,441                   | 0,88 %           |
| 80  | 81,48                    | 1,85 %           |
| 100 | 99,02                    | 0,98 %           |

*Generador de Señal FM.* La caracterización de señales FM se realizó en el dominio de la frecuencia mediante el analizador de espectros HP 4396B debido a que este instrumento ofrece ancho de banda con suficiente resolución para comparar los armónicos provenientes del Generador de Señales HP 8647A. Cabe señalar que la frecuencia de portadora más baja que se puede generar con el equipo es de 250 kHz, mientras que la máxima frecuencia de moduladora es de 1kHz, por lo que para estas frecuencias la Red Pitaya no es capaz de detectar armónicos debido a las limitaciones de la resolución de ancho de banda.

Recordando que la señal FM forma parte de las señales moduladas por ángulo, estas manifiestan su comportamiento en según la función de Bessel, por lo que se tomaron los valores de  $\beta$  que anula los armónicos de la señal.

Para este experimento se empleó el Generador de Señales diseñado para la Red Pitaya y el Generador de Señales HP 8647A para luego realizar la comparación de las señales generadas. En este sentido, con la aplicación Red Pitaya se ajustó la frecuencia de la señal portadora en 25 KHz y una señal moduladora de 1Khz, mientras que para el equipo tradicional la frecuencia de la señal portadora fue de 800 KHz y se moduló con la señal interna de 1Khz. Aunque ambas señales tienen diferente frecuencia de portadora, solamente se varió la de desviación máxima de frecuencia  $\Delta F$

Al comparar ambas señales se observa que tienen un comportamiento frecuencial similar con la cantidad de armónicos respectivas en cada frecuencia; aunque en el generador de Red Pitaya se observan mayores líneas espectrales, estas componentes contienen un nivel de potencia inferior al armónico considerado como nulo para ese valor de índice de modulación, por lo que también son consideradas nulas. Asimismo, los nulos de las componentes espectrales coinciden teóricamente en ambos generadores.

Para valores de  $\Delta F > 7600Hz$  la señal no corresponde a una FM. De igual manera sucede al aumentar la frecuencia de la moduladora  $f_M$  a valores mayor a 3Khz, lo que limita la operación del instrumento. No obstante, el generador diseñado para la Red Pitaya puede realizar modulación

Tabla 3: Comparativas de medidas de ancho de banda FM.

| Parámetros de la señal |            |                 | Anchos de Banda Teóricos |    |                | Anchos de Bandas Medidos |                    |                                |
|------------------------|------------|-----------------|--------------------------|----|----------------|--------------------------|--------------------|--------------------------------|
| m                      | $f_m$ (Hz) | $\Delta f$ (Hz) | BW Carson (Hz)           | n  | BW Bessel (Hz) | BW HP 8647A (Hz)         | BW Red Pitaya (Hz) | BW Red Pitaya (> -60 dbm) (Hz) |
| 2,4                    | 1000       | 2400            | 6800                     | 5  | 10000          | 10000                    | 10000              | 10000                          |
| 3,83                   | 1000       | 3830            | 9660                     | 6  | 12000          | 14000                    | 16000              | 14000                          |
| 5,14                   | 1000       | 5140            | 12280                    | 8  | 16000          | 18000                    | 20000              | 16000                          |
| 6,38                   | 1000       | 6380            | 14760                    | 9  | 18000          | 20000                    | 22000              | 20000                          |
| 7,59                   | 1000       | 7580            | 17160                    | 10 | 20000          | 22000                    | 24000              | 22000                          |

Tabla 4: Margen de error en el ancho de banda FM.

| m    | Error porcentual RP |         |         | Error porcentual RP > -60 dbm |         |         |
|------|---------------------|---------|---------|-------------------------------|---------|---------|
|      | Carson              | Bessel  | HP8647A | Carson                        | Bessel  | HP8647A |
| 2,4  | 47,05 %             | 0 %     | 0 %     | 47,05 %                       | 0 %     | 0 %     |
| 3,83 | 65,63 %             | 33,33 % | 16,66 % | 44,92 %                       | 16,66 % | 0 %     |
| 5,14 | 62,86 %             | 25 %    | 12,5 %  | 30,29 %                       | 0 %     | 11,11 % |
| 6,38 | 49,05 %             | 22,22 % | 11,11 % | 35,55 %                       | 11,11 % | 0 %     |
| 7,59 | 39,86 %             | 20 %    | 10 %    | 28,20 %                       | 10 %    | 0 %     |

interna hasta 3KHz; a diferencia del Generador de Señales HP 8647A que solamente puede modular con señales interna de 1KHz y 400 Hz.

La Tabla 3 muestra los anchos de bandas teóricos y los medidos para las diferentes variaciones realizadas. Cabe señalar que al aplicar la regla de Carson se obtienen las aproximaciones del ancho de banda menores que al emplear la ecuación de los coeficientes de Bessel [10].

En la medición del ancho de banda real se obtuvo una variación alrededor del 4 kHz con respecto al teórico de los coeficientes de Bessel y unos 2 kHz con respecto a el generador HP8647A, mientras que con la aproximación por regla de Carson, la diferencia mínima fue de 3,2 kHz y la máxima de 6,84 kHz.

Sin embargo, si se consideran despreciables los armónicos que tengan una potencia menor a -60 dBm el error en el cálculo del ancho de banda disminuye notablemente, coincidiendo en gran parte con el ancho de banda esperado véase en la Tabla 4.

### 3.1.3. Generador de Señal PM

Al igual que en FM, se empleó la misma configuración tanto para el Generador de Señales Red Pitaya, como para el Generador de Señales HP 8647A para realizar la comparación de las señales. No obstante, la variable en este caso fue

la de desviación fase  $\Delta\theta$ . Recordando que la señal PM es una modulación angular, el comportamiento espectral es aproximadamente igual a una señal FM, como la analizada en la sección anterior. Para medir la precisión del generador se realizaron varios montajes donde se evidenció como el nulo ocurre en el armónico principal en ambas señales. De la misma manera que en FM, las líneas espectrales que tienen un nivel de amplitud por debajo del nulo se consideran nulas.

### 3.1.4. Generador de Funciones

Las funciones Diente de Sierra y Señal modulada por ancho de pulso (PWM) fueron anexadas al generador de funciones y se validó el resultado al comparar con los valores teóricos.

**Función PWM.** El generador de funciones PWM para la Red Pitaya se utilizó para crear una señal de prueba de amplitud  $1V_{p-p}$  y una frecuencia  $f = 1$  KHz con tres ciclos útiles distintos,  $D = 10\%$ ,  $D = 40\%$  y  $D = 80\%$ . La caracterización temporal de las señales se realizó mediante la herramienta de los cursores del osciloscopio Red Pitaya para los tres ciclos útiles. El margen de error en el ciclo útil fue mínimo, obteniendo una señal precisa respecto a lo esperado. Véase la Tabla 5. Para el rango de los MHz, la señal empieza a presentar los característicos rizados de Gibbs debido distorsión.

Tabla 5: Medición de ciclo útil correspondiente con tres ciclos útiles distintos,  $D = 10\%$ ,  $D = 40\%$  y  $D = 80\%$ .

| Ciclo útil teórico | $t_1$           | $t_2$           | $\Delta t$     | Ciclo útil medido | Error porcentual |
|--------------------|-----------------|-----------------|----------------|-------------------|------------------|
| 10 %               | 1257,57 $\mu s$ | 1359,31 $\mu s$ | 101,74 $\mu s$ | 10,17 %           | 1,70 %           |
| 40 %               | 507,57 $\mu s$  | 908,73 $\mu s$  | 401,16 $\mu s$ | 40,12 %           | 0,30 %           |
| 80 %               | 806,99 $\mu s$  | 1612,22 $\mu s$ | 805,23 $\mu s$ | 80,52 %           | 0,65 %           |

Sin embargo, mediante una adaptación de  $50\Omega$  es posible reducir este fenómeno.

*Función Diente de Sierra.* Se generó la señal Diente de Sierra y se probó la herramienta de tiempo de subida con la herramienta del osciloscopio de la Red Pitaya, obteniendo resultados satisfactorios. Para frecuencias mayores a 1 MHz, la señal comienza a presentar distorsión en los picos de cambio brusco. Se logró alcanzar frecuencias de trabajo de 10 Mhz al adaptar el puerto de entrada del osciloscopio con una carga de  $50\Omega$ .

#### 4. Evaluación de la efectividad de la metodología desarrollada

Se realizó el análisis de las encuestas aplicadas en la dinámica de los laboratorios LIE y LSOG. Primero se determinó el porcentaje de conocimiento previo del equipo, luego se realizó la comparación de la apreciación del estudiante antes y después del desarrollo de la práctica; finalmente se diagnosticó la proporción de estudiantes motivados a continuar con este sistema.

##### 4.1. Conocimiento Previo

El 54 % de los estudiantes manifestaron tener conocimiento previo sobre los equipos y el 67 % indicó que había interactuado con algún equipo de los empleados en las prácticas de laboratorio LIE y LSOG. Estos resultados van enfocados al osciloscopio y Generador de Funciones que usan en laboratorios como Mediciones Eléctricas y Electrónica (II y III).

##### 4.2. Comparativa de encuestas

En las pre-encuestas y post-encuestas se realizaron consultas con el fin de evaluar el nivel de influencia de la instrumentación en el desempeño de las prácticas del laboratorio.

##### 4.2.1. Confianza

El nivel de confianza de los participantes al momento de manipular los equipos del laboratorio aumentó de un 33 % a un 79 %. Además, las expectativas con respecto al fortalecimiento del nivel de confianza esperado por los estudiantes se cumplieron; reafirmando la influencia de la instrumentación virtual en la manipulación de los equipos de laboratorio.

##### 4.2.2. Expectativa

En esta categoría se presentan dos preguntas relativas a las expectativas del aprendizaje empleando instrumentación virtual. La expectativa de que se pueden alcanzar los objetivos de una práctica se mantuvo en 83 %. Con respecto a la expectativa de que la interfaz virtual no debería ser semejante al instrumento tradicional Inicialmente solo un 8 % de los estudiantes consideraba que no debería ser semejante al instrumento tradicional. Luego del desarrollo de la práctica se alcanzó una unanimidad de la expectativa y se considera que deben ser semejantes.

##### 4.2.3. Herramientas

Con respecto al uso de las múltiples plataformas, como lo son dispositivos móviles o computadoras, los estudiantes mantuvieron la opinión, en un 92 %, de que ayudan a aprender de una manera más didáctica la operación y funcionamiento de los equipos del laboratorio.

##### 4.2.4. Utilidad

El 100 % de los estudiantes consideraron que el uso de instrumentación virtual en el desarrollo de las prácticas contribuyen al crecimiento de las competencias que debe poseer un ingeniero de telecomunicaciones para desenvolverse en el campo laboral.



#### 4.2.5. Metodología

En la pre-encuesta un 75 % de los estudiantes opinaban que se podía afianzar el conocimiento adquirido en la parte teórica de la materia realizando las prácticas empleando instrumentos virtuales. Luego de interactuar con la Red Pitaya y el 92 % considera que es posible relacionar la teoría con la práctica usando instrumentación virtual.

#### 4.3. Usabilidad del Instrumento

En el ámbito de la usabilidad de los equipos los estudiantes consideran que los instrumentos realizados son fáciles de usar para realizar las mediciones correspondientes a las prácticas y cumplir con cada uno de los objetivos. Es importante destacar que el 79 % de los estudiantes consideran que el material didáctico contribuyó en gran medida al aprendizaje de los equipos y su desenvolvimiento en el laboratorio. Un 75 % de los estudiantes valoraron que es posible realizar las mismas mediciones u operaciones en el instrumento virtual y en el instrumento tradicional, teniendo conocimiento de las limitaciones que posee la tarjeta al momento de trabajar. Por otro lado, el 79 % de los alumnos tizaron como precisas las medidas de las aplicaciones desarrolladas, es decir 19 estudiantes de los 24 que se tomaron para el estudio.

Al observar los resultados obtenidos en la encuesta se aprecia que un 71 % de los estudiantes valoran como correcto la emulación de los instrumentos virtuales de la Red Pitaya. Bajo este sistema un 96 % los estudiantes se sintieron motivados al realizar la práctica y consideraron que se debería continuar implementado las prácticas mediante instrumentos virtuales apoyado con materiales didácticos para su mejor comprensión, comparado con un 88 % obtenido en la encuesta previa.

#### 4.4. Evaluación de Grupo de Control

El grupo de control contaba para su preparación con el material de las clases de teoría y manuales técnicos de los equipos tradicionales dispuestos en la escuela de telecomunicaciones, la puntuación obtenida en la evaluación al inicio de la práctica fue de 5,22 pts. La nota obtenida

en la evaluación final fue 10,33 pts. Los grupos que trabajaron con la Red Pitaya y el material didáctico basado en simulaciones, obtuvieron una calificación promedio de 14,17 pts en la evaluación final, comparado con la nota inicial de 5,42 pts se logró una mejora del 262 %.

## 5. Conclusiones

Con el uso de simulaciones como herramientas didácticas para el aprendizaje del manejo de los instrumentos de laboratorio, se obtuvieron calificaciones mayores en comparación a las demás estrategias desarrolladas, una mejora de 262 %. Ésta fue la más aceptada por parte de los estudiantes al realizar la práctica. Los estudiantes aumentaron el nivel de confianza que demostraban previo a realizar la práctica. Sin embargo, el margen de calificaciones obtenidas entre cada una de ellas no fue tan amplio; los tutoriales un 243 % y el manuales 147 % y la de control 197 % relativo a la nota inicial de cada caso. Cabe destacar que se obtuvieron calificaciones mayores a los del grupo de control.

Las herramientas tutoriales otorgan mayor detección en los errores cometidos durante un ensayo previo, facilitando las decisiones a efectuar al momento de realizar la práctica disminuyendo el margen de error en el uso de las funciones del instrumento.

Las aplicaciones desarrolladas con la tarjeta de adquisición Red Pitaya tienen una alta aceptación por los estudiantes de los laboratorios de Instrumentación Electrónica y Sistemas de Ondas Guiadas. Fueron valoradas como fáciles de usar, además de que permiten realizar las mismas mediciones que se podrían realizar con el equipo físico. También cuentan con un margen de error aceptable en las mediciones realizadas, lo cual es indispensable para que se valide su uso en laboratorios universitarios, centros de investigación y laboratorios de medición privados.

Los estudiantes consideran que las interfaces deben ser similares visualmente al instrumento tradicional, mas no consideran necesario el uso de perillas para el manejo de los cursores del instrumento. Por otro lado, aprueban el uso de

botones para activar funciones como también el uso de cajas de textos para introducir valores.

De acuerdo con los resultados obtenidos en la evaluación realizada, la instrumentación virtual es una metodología apropiada para el aprendizaje en laboratorios de ingeniería. Aumentan la confianza del estudiante al operar un instrumento, tenga conocimiento previo o no, lo cual conlleva a una mayor motivación en el aprendizaje, facilitan el logro de los objetivos pautados para las prácticas y refuerzan el conocimiento adquirido en el curso teórico. Los estudiantes consideran que la instrumentación virtual va acorde a las competencias que debe poseer un ingeniero. Por las razones expuestas anteriormente, se está de acuerdo con la implementación de la instrumentación virtual como complemento en las prácticas de laboratorios.

Se comprobó la efectividad de los módulos de instrumentación virtual en los alumnos de instrumentación electrónica y sistemas de ondas guiadas; por lo tanto, es factible la implementación de esta herramienta durante las sesiones de laboratorio.

Los materiales didácticos desarrollados y empleados en el laboratorio ofrecen una mejora en el aprendizaje de un equipo de laboratorio empleando la instrumentación virtual sobre la metodología de aprendizaje de un instrumento tradicional; dicho de otra forma, tienen mayor efectividad en el conocimiento adquirido por el estudiante. Esto representa una gran oportunidad para reducir los costes del equipamiento de Laboratorios en los centros de enseñanza.

## Reconocimiento

Este artículo fue seleccionado por la Escuela de Ingeniería de Telecomunicaciones de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Carabobo, como uno de los mejores Trabajos Especiales de Grado del año 2018.

## 6. Referencias

[1] Jesús Salinas. Innovación docente y uso de las TIC en la enseñanza universitaria. *Revista de Universidad y Sociedad del Conocimiento (RUSC)*, 1, 2004.

- [2] J. M. Andújar Márquez and T. J. Mateo Sanguino. Diseño de laboratorios virtuales y/o remotos. Un caso práctico. *Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial*, 7(1):64–72, 2010.
- [3] Tareq Alkhaldi, Ilung Pranata, and Rukshan I. Athauda. A review of contemporary virtual and remote laboratory implementations: observations and findings. *Journal of Computers in Education*, 3(3):329–351, 2016.
- [4] James M. Marshall. Learning with technology: Evidence that technology can, and does, support learning. Report, Cable in the Classroom Foundation (CIC), San Diego, 2002.
- [5] E. Marmol and J. Viera. Desarrollo de instrumentación electrónica de bajo costo mediante SDR empleando la tarjeta redpitaya. Trabajo Especial de Grado, Escuela de Ingeniería de Telecomunicaciones, Facultad de Ingeniería, Universidad de Carabobo, Carabobo, Venezuela, 2015.
- [6] Jorge De Castro and Kevin Henriquez. Desarrollo de un generador vectorial de onda arbitraria basado en radio definida por software y software libre. Trabajo Especial de Grado, Escuela de Ingeniería de Telecomunicaciones, Facultad de Ingeniería, Universidad de Carabobo, Carabobo, Venezuela, 2015.
- [7] C. J. García-Orellana, M. Macías-Macías, H. González-Velasco, A. García-Manso, and R. Gallardo-Caballero. Remote laboratory experiments of analog electronics based on RedPitaya. In *2016 Technologies Applied to Electronics Teaching (TAE)*, pages 1–7, June 2016.
- [8] M. J. Albert Gómez, M. García Pérez Calabuig, and Gabriel Diaz. La evaluación como instrumento de formación para el aprendizaje a través de los laboratorios remotos. *REDU. Revista de Docencia Universitaria*, 14(1):377–403, 2016.
- [9] Vanesa Gámiz Sánchez and María Jesús Gallego Arrufat. Modelo de análisis de metodologías didácticas semipresenciales en educación superior. *Educación XXI: revista de la Facultad de Educación*, 19(1):39–61, 2016.
- [10] Wayne Tomasi. *Sistemas de Comunicaciones Electronicas*. Prentice Hall, Phoenix, Arizona, 2003.